

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA I
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
LABORATOIRE DE GEOMATERIAUX ET GENIE CIVIL



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité: Matériaux en génie civil

Développement d'un Eco-mortier de réparation à base de fines de brique recyclées et de fibres d'alfa

Par

M^{lle}. BENDALI BRAHAM Iman

Mr. BOURNINE Mourad

Devant le jury composé de :

Nadia BENTLEMSAN.	U. Saad Dahleb-Blida 1	Président
Hamza BENSACI.	U. Saad Dahleb-Blida 1	Examineur
Belkacem MENADI Pro.	U. Saad Dahleb-Blida 1	Promoteur
Walid YAHIAOUI MCB.	U. Saad Dahleb-Blida 1	Co- Promoteur

Blida, Octobre 2021

Remerciement

Le présent travail porte, certes, nos signatures, mais il reste le fruit de toute une équipe. C'est donc la conjugaison des efforts des uns et des autres qui a abouti aux résultats que nous présentons ici. Il nous paraît, à ce titre, au moment où cette étude s'achève, de manifester notre gratitude et notre reconnaissance toutes les personnes qui y ont contribué.

A notre promoteur Pr. Belkacem Menadi et Co-promoteur Dr. Walid Yahiaoui Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect. On vous remercie pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouver ici, l'expression de nos gratitude et de nos grandes estime.

On tient à reconnaître notre gratitude envers le professeur Said KENAI directeur du Laboratoire de Géo-matériaux et Génie Civil pour nous avoir facilité l'accès pour la réalisation de l'étude expérimentale.

Aux membres du jury Président du Jury : Nadia BENTLEMSAN. Examineur Hamza BENSACI. Messieurs les jurys, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

Nous tenons à remercier tout le Groupe GICA · Société des Ciment de la Mitidja - SCMI pour leur sympathie leurs disponibilité, leur soutien qui nous a permis de terminer nos essais et leur gentillesse.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et leurs grandes patiences dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Un grand merci à l'ensemble de nos famille et plus particulièrement à nos parents et nos sœurs et nos frères pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel qui nous a permis de réaliser les études pour les quelles on ce destine et par conséquent ce mémoire.

Résumé

La réparation et la réhabilitation des ouvrages en béton armé est en pleine évolution. En revanche, cette dernière nécessite une bonne connaissance du support à réparer, des matériaux de réparation et de l'environnement dans lequel ils vont être mis en œuvre et aussi une compréhension des mécanismes à la base de l'adhésion. Le béton est le matériau le plus utilisé dans le monde après l'eau. Cependant, beaucoup d'ouvrages en béton nécessitent de l'entretien et des réparations durables. Les mortiers de réparation prêts à l'emploi sont souvent importés et ils sont assez chers. Cependant, notre étude consiste à élaborer un mortier de réparation économique et écologique. Dans ce travail nous avons étudié l'effet de l'ajout des fines de brique recyclée avec des substitutions de (5%, 10% et 15%) du ciment et 1% de fibre d'alfa du volume global coupées en deux différentes longueurs à savoir 10mm et 30mm, sur les performances d'un mortier de réparation.

Les résultats observés ont montré que la substitution du ciment par les fines de brique recyclée provoque une diminution de la résistance mécanique. L'incorporation des fines de briques augmente de manière considérable la porosité du mortier ainsi que le coefficient d'absorption par capillarité.

Par ailleurs, l'incorporation des FBR et les fibres d'alfa augmente la contrainte de cisaillement oblique par rapport au mortier témoin (M0). De plus, les échantillons qui contiennent des fibres d'alfa traitées hydrothermalement ou à l'alcali ont donné les meilleurs résultats d'adhérence par traction direct qui ont dépassé la valeur minimale (1,5 MPa) exigée par la norme EN1504-3.

Cependant, l'effet du traitement des fibres à l'alcali, ça a amélioré la résistance à la flexion. À 90 jours de maturation le meilleur résultat de résistance à la flexion a été enregistré par les fibres de 1cm traitées à l'alcali.

Mots clés : mortier de réparation, fines de brique recyclée, fibre d'alfa, fibres végétales, ouvrabilité, propriétés mécaniques, durabilité, cisaillement oblique, traction direct.

ملخص

إعادة تأهيل الهياكل الخرسانية المسلحة و إصلاحها في حالة تطور من ناحية. و من ناحية أخرى ، يتطلب الأخير معرفة جيدة بالدعم المراد إصلاحه ومواد الإصلاح والبيئة التي سيتم استخدامها فيها وكذلك فهم الآليات الكامنة وراء الالتصاق. الخرسانة هي ثاني أكثر المواد استخدامًا في العالم بعد الماء. ومع ذلك، تتطلب العديد من الهياكل الخرسانية صيانة وإصلاحات طويلة الأمد. غالبًا ما يتم استيراد ملاط الجاهزة للاستخدام وهي باهظة الثمن. تتمثل دراستنا في تطوير ملاط اقتصادي وبيئي للإصلاح. درسنا في هذا العمل تأثير إضافة حبيبات الطوب المعاد تدويرها ببدايل (5% ، 10% ، 15%) من الأسمنت و 1% من ألياف الحلفاء من الحجم الكلي المقطوع إلى طولين مختلفين وهما 10 ملم و 30 ملم ، على أداء ملاط الإصلاح.

أظهرت النتائج الملاحظة أن استبدال الأسمنت بحبيبات الطوب المعاد تدويره يؤدي إلى انخفاض نتائج اختبارات القوة الميكانيكية. يزيد دمج حبيبات الطوب بشكل كبير من مسامية الملاط بالإضافة إلى معامل الامتصاص بواسطة الشعيرات الدامية.

بالإضافة إلى ذلك، فإن دمج حبيبات الطوب و ألياف الحلفاء يزيد من إجهاد القص المائل مقارنة بملاط التحكم. بالإضافة إلى ذلك ، أعطت العينات المحتوية على ألياف الحلفاء المعالجة الحرارية المائية أو القلوية أفضل نتائج التصاق شد مباشر تجاوزت الحد الأدنى للقيمة (1.5 ميغا باسكال) التي تتطلبها المواصفات الأوربية 3-1504

ومع ذلك ، فإن ما هو ملحوظ هو تأثير معالجة الألياف بالقلويات ، مما أدى إلى تحسين قوة الانحناء. عند 90 يومًا من النضج ، تم تسجيل أفضل نتيجة مقاومة للثني بواسطة الألياف المعالجة قلويًا 1 سم.

الكلمات المفتاحية: ملاط الإصلاح ، حبيبات الطوب المعاد تدويرها ، ألياف الحلفاء ، ألياف نباتية ، قابلية التشغيل ، الخواص الميكانيكية ، المتانة ، القص المائل ، التوتر المباشر.

Abstract

The repair and rehabilitation of reinforced concrete structures is evolving rapidly. However, it requires a good knowledge of the support to be repaired, the repair materials and the environment in which they are to be used, and an understanding of the mechanisms underlying the bond. Concrete is the most widely used material in the world after water. However, many concrete structures require maintenance and lasting repairs. Ready-to-use repair mortars are often imported and are quite expensive. Our study is to develop an economical and ecological repair mortar, which means an environmentally friendly and low cost mortar. In this work we studied the effect of adding recycled brick fines with substitutions of (5%, 10% and 15%) of cement and 1% of Alfa fiber of the total volume cut into two different lengths namely 10mm and 30mm, on the performance of a repair mortar.

The observed results showed that the substitution of cement by recycled brick fines causes a decrease in mechanical strength. The incorporation of the brick fines considerably increases the porosity of the mortar as well as the absorption coefficient by capillarity.

Furthermore, the incorporation of BRF and Alfa fibers increased the oblique shear stress compared to the control mortar (M0). Furthermore, the samples containing hydrothermally or alkali treated Alfa fibers gave the best direct tensile bond results which exceeded the minimum value (1.5 MPa) required by EN1504-3.

However, the effect of treating the fibers with alkali improved the flexural strength. At 90 days of maturation the best flexural strength result was recorded by the 1cm alkali treated fibers.

Key words: repair mortar, recycled brick fines, Alfa fiber, plant fiber, workability, mechanical properties, durability, bond by slant shear, bond by pull-off.

Table des matières

Remerciement.....	2
Résumé	3
ملخص	4
Abstract.....	5
Liste des figures:.....	12
Liste des tableaux:	17
Liste des symboles et des abréviations	18
Introduction générale :	20
Chapitre1: Revue bibliographique : Pathologie et mortier de réparation	
1.1 Introduction :	24
1.2 Pathologie :	24
1.2.1 Désordre :	24
1.3 Dégradation des structures en béton arme :	25
1.3.1 Cause de dégradation :	25
1.3.2 Phases de dégradations :	26
1.3.3 Dégradations mécaniques :	26
1.3.3.1 Les chocs:	26
1.3.3.2 Abrasion et érosion :	26
1.3.3.3 Déamination:	27
1.3.4 Dégradations physiques :	27
1.3.4.1 Retrait, tassement :	27
1.3.4.2 Le cycle gel-dégel:	28
1.3.5 Dégradations chimiques :	29
1.3.5.1 Action des sulfates :	29
1.3.5.2 Action d'alcali-réaction :	30
1.3.5.3 Autres attaques (eau de mer, eaux pures):	30

1.3.6	Les aspects visibles de la dégradation :	31
1.3.7	Phénomènes de transfert dans le béton :	33
1.3.7.1	Types de transfert :	33
1.3.7.2	Paramètres de transfert / circulation :	33
1.3.7.3	Les Solution pour ralentir les phénomènes de transfert dans un matériau poreux :	34
1.3.8	Conséquences des désordres :	34
1.4	La corrosion :	35
1.4.1	Phases de dégradation liée à la corrosion :	36
1.4.2	Attaque par les chlorures :	37
1.4.3	Attaque par la carbonatation :	38
1.4.4	Facteurs influents de la corrosion :	39
1.4.4.1	Influence de l'enrobage :	39
1.4.4.2	Influence de (rapport E/C):	39
1.4.4.3	Influence de l'humidité :	39
1.4.4.4	Effet de l'oxygène :	40
1.4.4.5	Autres agents agressifs :	40
1.4.5	Conséquences des désordres provoquent par la corrosion :	40
1.4.6	Mesure de prévention :	41
1.5	Mortier de réparation :	42
1.5.1	Caractéristiques de mortier de réparation :	42
1.5.2	Interaction des mortiers de réparations avec les supports :	44
1.6	Conclusion	46

Chapitre2: Revue bibliographique : Influence des fines de brique et les fibres végétales sur les performances des mortiers.

2.1	Introduction :	48
2.2	Fine de brique recyclé (FBR)	48
2.2.1	Introduction :	48

2.2.2	Définition de brique :.....	49
2.2.2.1	Type de brique :.....	49
2.2.3	Procédés de recyclage :.....	51
2.2.4	Propriétés physiques et chimiques de FBR :.....	52
2.2.5	Effet de la FBR comme substitution partielle du ciment :.....	54
2.2.5.1	Effet des déchets de brique sur tempe de prise:.....	55
2.2.5.2	Effet des déchets de brique sur l'ouvrabilité :.....	56
2.2.5.3	Effet des déchets de brique sur le retrait :.....	58
2.2.5.4	Effets des déchets de brique sur la résistance à la compression :.....	60
2.2.5.5	Effet des déchets de brique sur résistance à la flexion :.....	61
2.2.5.6	Effet des déchets de brique sur la porosité :.....	63
2.2.5.7	L'effet des déchets de briques sur l'absorption capillaire :.....	64
2.2.5.8	Effet des déchets de brique sur le gel-dégel :.....	66
2.2.5.9	Effet des déchets de brique sur la perméabilité aux ions chlores :.....	68
2.3	Fibre végétale :.....	69
2.3.1	Introduction :.....	69
2.3.2	Définition :.....	69
2.3.2.1	Origine des fibres végétales :.....	70
2.3.2.2	Quelques fibres végétales cellulosiques :.....	71
2.3.2.3	Caractéristique chimiques physiques et mécaniques des fibres végétales :.....	72
2.3.2.4	Evaluation de la disponibilité des fibres végétales :.....	73
2.3.2.4.1	Disponibilité des fibres végétales à l'échelle mondiale :.....	73
2.3.2.4.2	Disponibilité des fibres végétales en Algérie :.....	74
2.3.2.5	Fibre d'alfa :.....	74
2.3.2.5.1	La morphologie de fibre d'alfa :.....	75
2.3.2.6	Avantages et inconvénients des fibres végétales :.....	76
2.3.2.7	Adhésion des fibres végétales à la matrice :.....	77

2.3.2.8	Durabilité des fibres végétales :	78
2.3.2.9	Biodégradation et développement de micro-organismes des fibres :.....	78
2.3.3	Influence des fibres végétales sur l'état frais	79
2.3.3.1	Densité.....	79
2.3.3.2	Rhéologie :	80
2.3.4	Influence des fibres végétales sur l'état durci	82
2.3.4.1	Résistance à la traction par flexion :	82
2.3.4.2	Résistance à la compression ;.....	84
2.3.4.3	Cisaillement oblique :.....	85
2.3.4.4	Absorption capillaire :.....	88
2.3.4.5	Conductivité thermique :.....	89
2.3.4.6	Porosité :.....	91
2.3.4.7	Durabilité des composites de ciment renforcés par des fibres végétales : ..	93
2.4	Traitement des fibres végétales :	94
2.4.1	Méthodes de prétraitement des fibres végétales :.....	94
2.4.1.1	Traitement physique :.....	95
2.4.1.2	Traitement hydrothermique :.....	97
2.4.1.3	Traitement chimique :	99
2.4.1.3.1	Traitement alcalin :	99
2.4.1.3.2	Effet chimique du traitement alcalin sur la morphologie de la fibre :	99
2.4.1.3.3	Les procédures de traitement alcaline :.....	100
2.4.2	Conclusion :.....	101
	Références bibliographiques.....	104

Chapitre 3: Matériaux et Protocole Expérimental.

3.1	Introduction.....	118
3.2	Matériaux utilisés.....	118
3.2.1	Les fines de brique recyclé	118

3.2.2	Ciment	121
3.2.3	Les granulats utilisés pour béton	122
3.2.4	Les sables pour mortier :	123
3.2.5	Eau de gâchage :	126
3.2.6	Adjuvants :	126
3.2.7	Fibre végétale :	128
3.2.7.1	Prétraitement des fibres :	129
3.2.7.2	Traitement chimique :	129
3.2.7.3	Traitement hydrothermique :	131
3.3	Formulations adoptées :	132
3.3.1	Béton :	132
3.3.2	Mortiers de réparation :	134
3.3.2.1	Application du mortier de réparation :	136
3.4	Essai de consistance et de prise	138
3.5	Essai sur l'état frais des mortiers :	139
3.5.1	Essai d'étalement des mortiers :	139
3.5.2	Maniabili-mètre LCPC :	140
3.5.3	Masses volumiques apparentes et air occlus :	142
3.6	Essais réalisés sur mortier à l'état durci :	143
3.6.1	Résistance à la compression et à la flexion :	143
3.6.2	Essai d'adhérence par cisaillement oblique :	144
3.6.3	Essai d'adhérence par arrachement :	145
3.6.4	La conductivité thermique :	147
3.6.5	Absorption capillaire :	148
3.6.6	Porosité accessible à l'eau :	150
3.7	Résumé du plan expérimental :	151
	References bibliographiques	153

Chapitre 4: Résultats et Analyse.

4.1. Introduction :	155
4.2. Influence des fines de brique sur le début et fin de prise des pâtes:	155
4.3. Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur l'état frais :	156
4.3.1. Etalement :	156
4.3.2. La maniabilité en LCPC:	158
4.3.3. Masse volumique:	159
4.3.4. Air occlus:	160
4.4. Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur l'état durci: :	161
4.4.1. Résistance à la compression :	161
4.4.2. Résistance à la flexion :	163
4.4.3. Porosité :	166
4.4.4. Essai d'adhérence par cisaillement oblique :	167
4.4.5. Absorption capillaire:	169
4.4.6. Adhérence par arrachement (Pull-off):	174
4.4.7. Conductivité thermique :	177
4.5. Conclusion :	178
References bibliographiques.....	180
Conclusions générales et perspectives :	183
Annexes.....	186

Liste des figures:

Figure 1-1: Cause de dégradations.	25
Figure 1-2: Attaque sulfatique.	29
Figure 1-3: Paramètres de transfert.	34
Figure 1-4: Corrosion des armatures.	35
Figure 1-5: Phases de dégradation.	36
Figure 1-6: Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle.	37
Figure 1-7: Formule et schéma de carbonatation.	38
Figure 1-8 : Mécanisme de carbonatation.	38
Figure 1-9: Élimination du béton dégradé.	44
Figure 1-10: Mise en place d'un revêtement de protection superficiel.	46
Figure 2-1: Production et déchet de brique en Algérie.	49
Figure 2-2: Quelque type de la brique.	50
Figure 2-3: Processus de préparation de fine de brique en laboratoire.	51
Figure 2-4: Composition minérale et microstructure de FBR.	53
Figure 2-5: Temps de prise des pâtes de ciment avec et sans FBR.	56
Figure 2-6: Tendance de perte de fluidité pour (0,10,20,30)% de remplacement de FBR.	57
Figure 2-7: Valeur de consistance des mortiers recyclés.	58
Figure 2-8: Profils de retrait pour le béton contenant les fine de brique.	59
Figure 2-9: Variation de la longueur des barres de mortier due au retrait.	59
Figure 2-10: Effet de la teneur en fine de brique sur la résistance à la compression (S).	60
Figure 2-11: Résistance à la flexion en fonction de déférent ratio en FBR.	61
Figure 2-12: La résistance à la flexion mené par J.-D. Wu et al. à 7 j, 28 j et 90 j.	62
Figure 2-13: Influence de la proportion de ciment remplacée par chacune des argiles calcinées sur la porosité totale.	63
Figure 2-14: Distributions de la taille des pores des mélanges de mortier sélectionnés.	64
Figure 2-15: Relation entre la teneur en FBR et le coefficient d'absorption d'eau des mortiers durcis pendant 90 jours.	65
Figure 2-16: Absorption d'eau des mortiers recyclés avec (a) DB sec et (b) pré-trempage en fonction de la racine carrée du temps dans les conditions de cure à l'air , ("A") après le numéro de l'éprouvette indique les conditions de durcissement à l'air.	66
Figure 2-17: Expansion du mortier soumis aux cycles gel-dégel.	67
Figure 2-18: Effet du FBR sur la pénétrabilité des ions chlorure.	68

Figure 2-19: Structure et composition d'une paroi végétale.	70
Figure 2-20: Classification des fibres végétales selon l'origine.	70
Figure 2-21: Teneur en cellulose dans différentes sources végétales.	71
Figure 2-22: Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut.	75
Figure 2-23: Coupes transversales de la feuille d'alfa : (a) niveau le plus bas ; (b) niveau médian ; (c) niveau supérieur.	75
Figure 2-24: Avantages et inconvénients des fibres végétales.	76
Figure 2-25: Observation au microscope de RM(CF) et RM(GF).	78
Figure 2-26: Variation de la densité.	79
Figure 2-27: Valeurs d'affaissement des mélanges de mortier.	81
Figure 2-28: Résistance à la flexion des mortiers renforcés par des fibres coupées à 28 et 90 jours de cure.	84
Figure 2-29: Résistance à la compression des mortiers renforcés par des fibres coupées à 28 et 90 jours de cure.	85
Figure 2-30: Résultats pour les échantillons d'un mortier de réparation ordinaire.	86
Figure 2-31: Résultats pour les échantillons d'un mortier de réparation renforcé ($V_f = 0.5\%$).	87
Figure 2-32: Résultats pour les échantillons d'un mortier de réparation renforcé ($V_f = 1\%$).	87
Figure 2-33: Pourcentage de la consommation d'eau.	89
Figure 2-34: Variation de la CT de différents types de béton fibré à des températures élevées.	90
Figure 2-35: Variation de la CT de différents types de béton fibré à des températures élevées.	91
Figure 2-36: Porosité des mortiers renforcés avec des fibres Alfa en fonction du rapport d'addition des fibres.	92
Figure 2-37: Résistance des carreaux en fibrociment végétal. E (5% d'eucalyptus) ; S (3% de sisal) ; ES(1% d'eucalyptus, 3% de sisal).	94
Figure 2-38: Les différentes procédures de traitement des fibres.	95
Figure 2-39: Indice de cristallinité obtenu à partir de DRX des échantillons traités par hydrothermie.	98
Figure 2-40: Spectres FTIR de fibres Alfa non traitées et traitées par hydrothermie.	98
Figure 2-41: Image MEB de traitement chimique des fibres d'alfa avant et après 6h de traitement dans une solution de 6% NaOH.	101
Figure 3-1: Les déchets de brique déposés aux alentours de l'usine.	118
Figure 3-2: Les FBR obtenus après les procédures de broyage.	119

Figure 3-3: Les procédures de broyage et recyclage des déchets de brique.....	120
Figure 3-4 : Ciment MATINE (CEM II/B-L 42.5 N) fourni par le groupe Lafarge.	121
Figure 3-5: Caractérisation physique de ciments A) Masse volumique apparente (kg/m ³) B) Masse volumique absolue (kg/m ³).	122
Figure 3-6: sable utilisé. A) sable 0/2 de boughezoul, B) sable 0/5 de baghlia.	123
Figure 3-7: poids volumique apparente. A) sable 0/2 de boughezoul, B) sable 0/5 de baghlia.	124
Figure 3-8: poids volumique absolus. A) sable 0/2 de boughezoul, B) sable 0/5 de baghlia.	124
Figure 3-9 : Equivalent de sable.	125
Figure 3-10: Analyse granulométrique.....	125
Figure 3-11: superplastifiant MEDAFLOW 30, GRANITEX.	127
Figure 3-12: Fibres d'alfa à l'état naturel avant le découpage.	128
Figure 3-13: Caractérisation physique des fibres d'alfa découpé.....	128
Figure 3-14: Le découpage des fibres a 10mm et 30mm.	129
Figure 3-15: Les procédures entamées pour le traitement alcalin sur les fibres d'alfa.	130
Figure 3-16: Les procédures entamées pour le traitement hydrothermique sur les fibres d'alfa.	131
Figure 3-17: A) Moule pour les dalles en béton 70×230×280. B) Dispositif d'inclinaison 30° pour les moules cylindriques.	133
Figure 3-18: Demi-cylindre et dalle en béton.....	133
Figure 3-19: Optimisation du pourcentage du superplastifiant.	134
Figure 3-20: Formulation du mortier de réparation.....	136
Figure 3-21: Application du mortier de réparation sur les dalles.	136
Figure 3-22: Application du mortier de réparation sur les éprouvettes cylindrique.....	137
Figure 3-23: Application du mortier de réparation dans les moule 40×40×160mm.	137
Figure 3-24: Appareil de Vicat.....	138
Figure 3-25: Etalement de mortier.....	139
Figure 3-26: Principe de fonctionnement du LCPC.	141
Figure 3-27: mesure de l'air occlus à l'aide d'un aéromètre à mortier.	142
Figure 3-28: mesure des masses volumiques apparentes des mortiers.....	142
Figure 3-29: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion et à la compression.	143
Figure 3-30: A) Essai de résistance à la flexion ; B) Essai de résistance à la compression. ..	144
Figure 3-31: Essai d'adhérence par cisaillement oblique.....	144
Figure 3-32: Schéma de l'appareil d'arrachement.	145

Figure 3-33: Carottage des dallâtes.	146
Figure 3-34: Essai d'adhérence par arrachement.	146
Figure 3-35: Sika dure 31 CF	147
Figure 3-36: Schéma illustrant le transfert thermique. La chaleur conduite par l'échantillon est imposée par une source et évacuée par un bain thermique.....	148
Figure 3-37:Essai d'absorption capillaire.	149
Figure 3-38: Dispositif de saturation sous vide des éprouvettes.	151
Figure 3-39: Essai réalisé sur matériaux et mortier.....	152
Figure 4-1:Influence des fines de brique sur le début et fin de prise des pates.	156
Figure 4-2:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur l'étalement des mortiers.....	157
Figure 4-3:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la maniabilité en LCPC des mortiers.....	158
Figure 4-4:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la masse volumique.....	159
Figure 4-5:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur air occlus des mortiers.	160
Figure 4-6:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la résistance à la compression des mortiers à 28 jours.....	162
Figure 4-7: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la résistance à la compression des mortiers à 90 jours.....	163
Figure 4-8:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la résistance à la flexion des mortiers à 28 jours	165
Figure 4-9: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la résistance à la flexion des mortiers à 90 jours.....	165
Figure 4-10:Adhésion des fibres d'alfa à la matrice, A) fibre ST ; B) Fibre T.EB ; C) Fibre T.NaOH.	166
Figure 4-11: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la porosité des mortiers. .	167
Figure 4-12: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la contrainte d'adhérence par cisaillement.....	168
Figure 4-13: spécimens cylindrique après l'essai d'adhérence par cisaillement oblique; A)- spécimens de réparation en mortier sans fibres; B)- les spécimens de réparation en mortier renforcé par des fibres d'alfa.....	169
Figure 4-14:Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR pondent 8 jours.	171
Figure 4-15:Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR et en fibre d'alfa sans traitement pondent 8 jours.	171

Figure 4-16: Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR et en fibre d'alfa traité hydrothermalement pondent 8 jours.	172
Figure 4-17: Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR et en fibre d'alfa traité à l'alcalin pondent 8 jours.	172
Figure 4-18: Sorptivité des différents mélanges grand pores.	173
Figure 4-19: Sorptivité des différents mélanges petits pores.	173
Figure 4-20: Types de mode de rupture.....	174
Figure 4-21: Contraintes d'adhérences obtenues par l'essai d'adhérence par traction direct à l'âge de 90 jours pour les différents mortiers testés.	176
Figure 4-22: Conductivité thermique à l'âge de 90 jours pour les différents mortiers testés..	177

Liste des tableaux:

Tableau 1-1:Les aspects visibles de la dégradation.....	31
Tableau 1-2 :Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des produits les plus utilisés	43
Tableau 2-1 : Composition chimique de FBR	52
Tableau 2-2: Résumé quelque recherche précédente sur la FBR.	54
Tableau 2-3: Compositions chimiques de différentes fibres végétales.	72
Tableau 2-4: Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles.	73
Tableau 2-5: Travaux sur le traitement physique des composites à base de fibres végétales ..	96
Tableau 2-6: Effet des fibres végétales et des FBR sur la performance des mortiers et bétons	103
Tableau 1-1:Les aspects visibles de la dégradation.....	31
Tableau 1-2 :Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des produits les plus utilisés[24]	43
Tableau 2-1 : Composition chimique de FBR	52
Tableau 2-2: Résumé quelque recherche précédente sur la FBR.	54
Tableau 2-3: Compositions chimiques de différentes fibres végétales	72
Tableau 2-4: Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles.	73
Tableau 2-5: Travaux sur le traitement physique des composites à base de fibres végétales ..	96
Tableau 2-6: Effet des fibres végétales et des FBR sur la performance des mortiers et bétons	103
<u>Tableau 3-1: Caractéristiques chimiques de FBR.....</u>	<u>119</u>
Tableau 3-2:Caractéristiques physique de FBR	119
Tableau 3-3: Caractéristiques chimiques de ciments	121
Tableau 3-4: Caractéristiques physiques de ciment	121
Tableau 3-5: Caractéristiques des granulats utilisés.....	122
Tableau 3-6: Caractéristiques des granulats utilisés.....	123
Tableau 3-7: Caractéristiques du superplastifiant.	127
Tableau 3-8:Caractéristiques chimiques de la fibre d'alfa.....	129
Tableau 3-9: Composition du béton	132
Tableau 3-10:Proportion des mélanges des mortiers.....	135
Tableau 3-11: Valeurs d'étalement à la table à secousse.	140
<u>Tableau 3-12: Consistance du mortier</u>	<u>141</u>
<u>Tableau 4-1: Contraintes d'adhérences et modes des ruptures.....</u>	<u>175</u>

Liste des symboles et des abréviations

ArSaFTa	Matrice à des fibres d'alfa avec un traitement alcali.
ArSaFTeb	Matrice à des fibres d'alfa avec un traitement hydro-thermique.
C2S	Silicate bi-calcique ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)
C3S	Silicate tri-calcique ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)
CO ₂	Dioxyde de carbone.
CEM II/B 42.5	Ciment Portland composé de classe 42.5.
Cl	Chlore.
CPO	Ciment portland ordinaire.
CRS	Ciment résistant aux sulfates.
C-S-H	Silicate de calcium hydraté
C-A-S-H	silicates hydratés d'aluminium
cm	Centimètre.
CT	Conductivité thermique.
DB	Déchet de brique.
DRX	Diffraction des rayons X.
E	Eau.
E/L	Eau/Liant.
E/C	Eau/ciment
FBR (RBP)	Fine de Brique Recyclé
FA	Fibre d'alfa.
FAST	Fibre d'alfa sans traitement.
FAT(EB)	Fibre d'alfa traité avec l'eau bouillante.
FAT(NaOH)	Fibre d'alfa traité avec NaOH.
Fe	Fer.
Fe(OH) ₂	Hydroxyde de fer.
FeCl ₂	Chlorure de fer.
FIB	Fibres de chanvre brutes.
FIBNA	Fibres de chanvre traitées avec une solution de soude.
FIBAL	Fibres de chanvre traitées avec une solution de chlorure d'aluminium.
Fmax	Force maximale.
FS	Fumé de silice.
FTIR	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
g	Gramme
Gpa	Giga pascal
h	Heure.
H ₂ SO ₄	Sulfate d'hydrogène
ha	Hectare.
HCl	Chlorure d'hydrogène
I	Coefficient d'absorption d'eau par capillarité.
j	Jour.
kg	kilo gramme.

kg/m ³	kilogramme par mètre cube.
kN	Kilo Newton.
kV	Kilo volt
LH	Liant hydraulique.
LR	Résine synthétique.
m	mètre.
MEB	Microscopie électronique de balayage.
MgSO ₄	Sulfate de magnésium.
Min	Minute.
mK	Mètre-kelvin.
mm	Millimètre.
MPa	Méga pascal.
MT (M0)	Mortier témoin.
MR	Mortier de référence
N	Newton.
Na ₂ SO ₄	Sulfate de sodium.
NaOH	Hydroxyde de sodium.
NaCl	Chlorure de sodium.
NF EN	Norme européenne version française.
Ø	diamètre
O ₂	Oxygène.
OH	Hydroxyle.
Pa	Pascal.
PH	Potentiel d'hydrogène.
PP	Polypropylène.
SSB	Finesses de Blaine.
RT	Resistance a la traction.
RC	Resistance à la compression.
RM(GF)	Mortier de référence avec microfibre d'alfa.
RM(CF)	Mortier de référence avec fibre d'alfa (10, 20,30) mm.

Introduction générale :

Connu depuis l'époque antiquité, le béton est aujourd'hui le matériau de construction qu'on voit partout, c'est le matériau le plus utilisé au monde. Afin d'améliorer les performances du béton, on y introduit des armatures d'acier, c'est le béton armé[1]. Donc c'est devenu remarquable que le béton n'est pas toujours le matériau indestructible que l'on croit. Les actions physico-chimiques compromettent la durabilité des structures en béton armé, bien qu'elles soient connues pour leur capacité d'assurer la tenue en service prévue. Cette dernière est une caractéristique très importante, car c'est la garantie d'une sécurité et d'une durée de services accrus de ces structures. Cette durabilité assure également une économie considérable sur le long terme, car de tels ouvrages nécessiteront l'entretien, Économisant ainsi les coûts de réparation, qui peuvent être très élevés, et peuvent même dépasser les coûts initiaux de construction[2]. En particulier les structures sont plus de 40 ans et beaucoup d'entre eux nécessitent des travaux de réhabilitation et de réparation vu la détérioration du béton qui peut se produire en raison de la corrosion des armatures occupent le premier rang des dégradations, des dommages structurels, de l'infiltration d'eau, de l'activité sismique ou d'une multitude d'autres raisons c'est ce qu'on appelle une pathologie.

Une fois les causes et les pathologies sont diagnostiquées, il est nécessaire de prévoir une réhabilitation pour rétablir les caractéristiques physiques et mécaniques initiales de la structure. Le domaine de la réparation et de la réhabilitation des ouvrages en béton armé est en pleine évolution[3].

La réparation par mortier est l'une des méthodes les plus utilisées pour des structures affectées ou dégradée. La réparation des bétons nécessite non seulement une bonne connaissance du support à réparer, des matériaux de réparation et de l'environnement dans lequel ils vont être mis en œuvre, mais aussi une compréhension des mécanismes à la base de l'adhérence, les compatibilités dimensionnelles, la maniabilité, la résistance, la déformabilité, la facilité de mise en œuvre, son faible retrait et sa perméabilité sont les clés de la réussite et de la durabilité de la réparation et à partir de ces principes le choix du mortier est effectué. Pour améliorer les performances et pour réduire la consommation du ciment[4], l'incorporation de matériau cimentaire supplémentaire consiste une bonne alternative. De plus, en raison de leur activité pouzzolanique et de leur effet de remplissage l'incorporation aux agents cimentaire, peut conduire à une production d'un mortier plus compact avec des meilleures caractéristiques mécaniques et durables. Les ajouts cimentaires peuvent provenir

des matériaux naturels, ou des sous-produits, voir des déchets industriels. Ces ajouts offrent souvent de nombreux avantages au ciment [5], [6]. Beaucoup de chercheurs ont mené des études pour l'incorporation des matériaux à base d'argile et des fibres végétales dans les matrices cimentaires. Pour commencer, les matériaux à base d'argiles calcinées comme la brique, la tuile et les céramiques sont souvent utilisés dans la construction. L'industrie de la maçonnerie ainsi que les sites de construction produisent des quantités importantes de déchets. En Algérie la maçonnerie en brique est la plus utilisée dans les chantiers. La brique est fabriquée à partir de la calcination d'un mélange d'argiles à une température de cuisson variant de 650°C à 1000°C. L'utilisation d'ajouts cimentaire à base de déchets de brique broyées, issus des briqueteries, des chantiers de construction ou de démolition permet de contribuer à la résolution du problème de stockage des déchets. Il en va de même pour la réduction de la pollution de l'environnement, ainsi que la préservation des ressources naturelles. L'idée conséquente est de substituer partiellement le ciment par des fines de brique recyclée. L'activité pouzzolanique des fines de brique est influencée par diverses propriétés physico-chimiques et chimiques telles que la teneur en phase amorphe, la teneur totale en silice, la composition chimique et minéralogique, la surface spécifique des grains, le degré de dés hydroxylation, ainsi que la composition brute de la matière première [7]. L'ajout de fines de brique dans les mélanges, peut favoriser la diminution du retrait des mortiers, l'amélioration de la structure des pores et le gain de résistance vis-à-vis des milieux agressifs et du gel-dégel [8], [9].

D'autre part La recherche et l'expérience acquise ont permis l'introduction des fibres dans le domaine de la construction, l'utilisation des fibres végétales continue d'augmenter en raison de leurs avantages : faible densité, renouvelables, faible coût, propriétés mécaniques élevées (résistance à la traction). De plus, la disponibilité des plantes à fibres dans les pays sous-développés lui permet de produire les fibres végétales avec peu de technologie et une faible quantité d'énergie grise. L'Algérie est parmi les pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (de palmier, Alfa, Abaca, Chanvre, Cotton ...), malheureusement, leurs valorisations dans les domaines pratiques, entre autres, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée [10].

Ce travail a pour but principal de valoriser l'utilisation des fines de brique recyclés comme addition cimentaire, ainsi l'incorporation des fibres d'alfa. Pour la fabrication des mortiers de réparation, écologique, économique, durable.

Plan de travail :

Afin d'atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus, notre mémoire est structurée ainsi :

Une introduction générale est énoncée en premier lieu.

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique qui commence par la problématique, pathologie et les différentes causes de dégradation. Puis la solution que nous proposons consiste en différents types de mortiers de réparation structurels. Ensuite l'influence des fines de brique recyclée sur les performances des (mortiers/bétons). Et l'influence des fibres végétales sur une matrice de ciment à l'état frais et à l'état durcis ainsi que la durabilité.

Le deuxième chapitre concerne la partie expérimentale proprement dite. Elle est réalisée sur des éprouvettes en mortier. Une description détaillée des matériaux utilisés est rapportée. La procédure expérimentale adoptée est expliquée dans ce chapitre.

Le troisième chapitre présente l'analyse et la discussion des résultats expérimentaux sur la substitution de ciment par les fines de brique recyclé, et l'incorporation des fibres d'alfa dans le mortier.

La conclusion regroupe les principaux résultats de cette étude ainsi que des recommandations pour de futurs travaux en continuité.

**Chapitre1: Revue
bibliographique :
Pathologie et mortier de
réparation**

1.1 Introduction :

Les ouvrages en béton armé constituent le matériau composite le plus couramment employé. Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

La détermination précise des causes d'une détérioration quelconque du béton est un sujet complexe. Ceci s'explique par le manque de connaissance et la complexité des phénomènes qui affectent ce matériau, à leur évolution dans le temps, ainsi qu'à leur concomitance.

1.2 Pathologie :

Étude des désordres affectant un bâtiment ou un matériau en œuvre, une étude pathologique comprend:

- L'observation et l'analyse des symptômes et de leur processus de formation, ainsi que des conditions de mise en œuvre.
- L'établissement d'un diagnostic sur les causes probables et sur les risques d'évolution du désordre.
- La recherche de remèdes ou traitements curatifs à envisager. Le classement des causes principales de désordres pour les ouvrages en béton armé correspond au classement type basé sur la division des responsabilités entre les concepteurs (y compris les calculs) et les réalisateurs (exécution sur chantier). Une étude des pathologies d'un ouvrage se décompose en plusieurs phases. Celle-ci commence par une visite de l'ouvrage accompagné d'un relevé détaillé des différentes pathologies présentes sur les ouvrages. Ensuite, on procède à un diagnostic afin de connaître l'origine des pathologies pour préconiser d'une part le classement de l'état de l'ouvrage et d'autre part les travaux à réaliser[11].

1.2.1 Désordre :

Anomalie de fonctionnement, d'aspect, de solidité, d'un équipement ou d'un ouvrage, du fait d'un défaut de conception, du fait d'une erreur de mise en œuvre, ou du fait d'un composant inadapté[11].

1.3 Dégradation des structures en béton armé :

Dans cette recherche. On va s'intéresser aux pathologies du béton armé durci. Ces pathologies ont des causes et conséquences variables. Elles sont décrites dans ce qui suit : dégradations mécaniques, chimiques et physiques[12].

1.3.1 Cause de dégradation :

La durabilité des structures représente leur capacité à garder leur intégrité dans le temps, dans le langage courant, on parle de durée de vie des constructions. Les constructions peuvent voir leur durabilité mise à rude épreuve lorsqu'elles sont attaquées par des agents agressifs se trouvant dans leur environnement immédiat. Ces attaques mènent à des dégradations qui peuvent conduire à la ruine partielle ou totale d'une structure et mènent à une maintenance régulière et permanente[13].

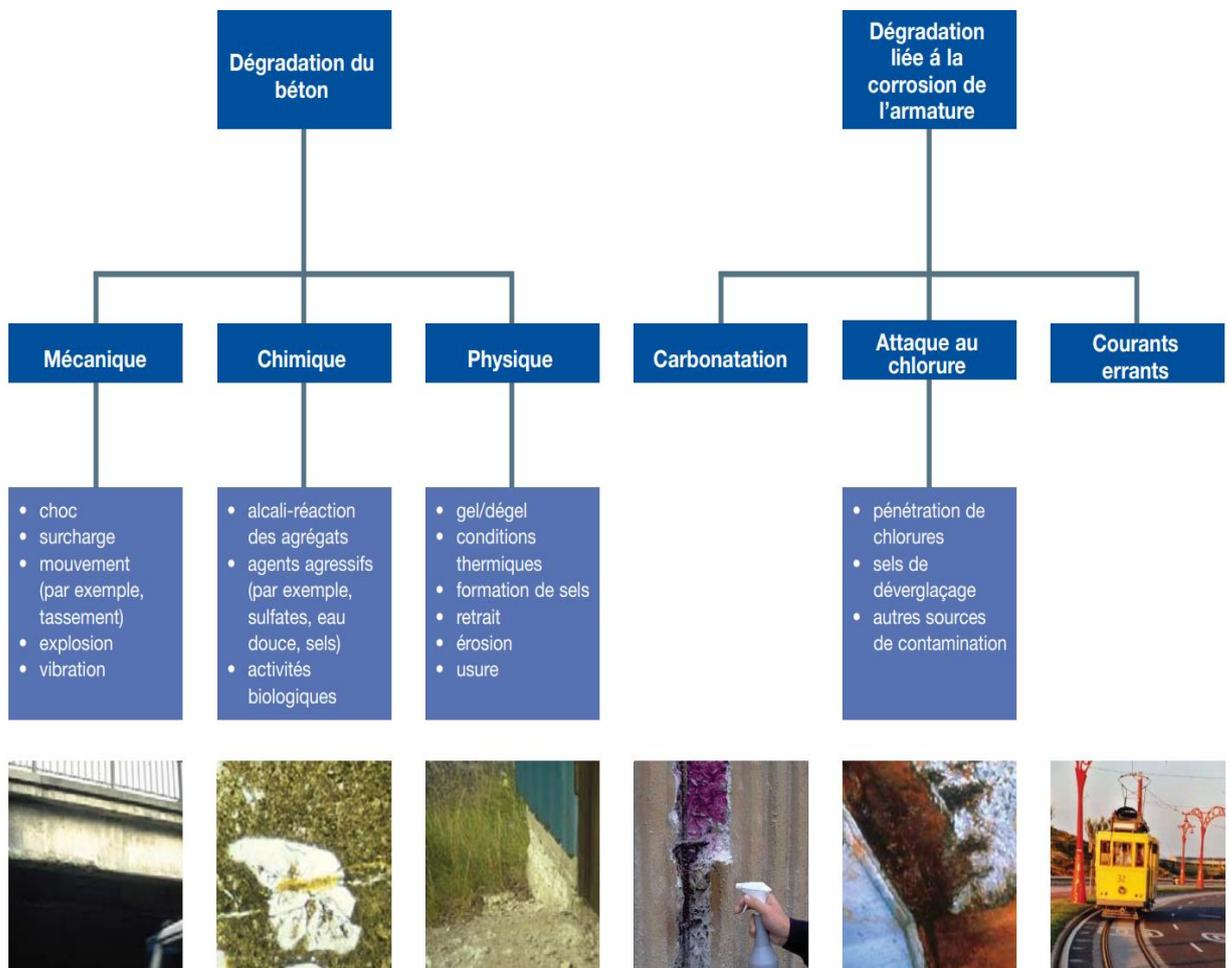


Figure 1-1: Cause de dégradations[14].

1.3.2 Phases de dégradations :

La dégradation du béton armé comporte deux phases successives :

- Une phase d'incubation ou de latence (dite parfois d'amorçage) qui correspond à l'altération lente du béton, sans qu'il ne se produise encore des effets visibles[15].
- Une phase de développement (dite parfois de croissance) des dégradations du matériau.

La phase d'incubation s'arrête :

- Soit lorsque les produits formés par les réactions internes du ciment atteignent un "volume critique " provoquant un gonflement néfaste du béton (par exemple, par réaction sulfatique),
- Soit lorsque l'enrobage de béton ne protège plus les aciers contre la corrosion (par exemple, si l'enrobage est carbonaté). La phase de développement est celle où les dégradations sont visibles. A ce stade les réparations deviennent lourdes et coûteuses[15].

1.3.3 Dégradations mécaniques :

Les désordres apportés par l'utilisation d'un ouvrage constituent une cause non négligeable de dégradation des bétons. Il s'agit le plus souvent d'une attaque de types mécanique: chocs, abrasion, érosion, etc. [16].

1.3.3.1 Les chocs:

Les chocs les plus fréquents sont ceux des poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts, les chocs de bateaux ou et d'objets flottants contre les piles en rivière, ainsi que les chocs des véhicules contre les barrières de retenue qui constituent une autre source de chocs non négligeable. Ces chocs peuvent créer des épaufrures, des éclats importants de béton, voire même des ruptures d'aciers [16].

1.3.3.2 Abrasion et érosion :

Les phénomènes d'abrasion et d'érosion se rencontrent essentiellement dans des structures de génie civil en contact avec des circulation des eaux comme les barrages (érosion des évacuations de crue), ou des galeries d'amenée d'eau, et dans des structures soumises à des charges mécaniques répétées comme les chaussées en béton (glaçage, usure, écaillage, ornière, nid de poule, etc.). Dans le domaine des ponts, ce sont principalement les piles en

rivière qui peuvent subir des abrasions consécutives dues à l'action du courant et des corps flottants[16].

1.3.3.3 Déamination:

La déamination est provoquée par l'action conjuguée des sollicitations climatiques des sels anti-verglas et du trafic circulant directement sur le béton constitutif des hourdis de pont. Dans les cas les plus graves, cette pathologie aboutit à la chute des plaques de béton et à la création de trous dans les tabliers de pont[16].

1.3.4 Dégradations physiques :

D'un point de vue physique il est important de noter que le béton est un matériau hydraulique et poreux et qu'à ce titre, il est sujet à un certain nombre de phénomènes qui sont basés sur le comportement de l'eau en son sein et sur les échanges d'eau avec le milieu extérieur[16].

1.3.4.1 Retrait, tassement :

Le béton peut présenter des dégradations dont la cause est l'existence d'un retrait mal maîtrisé, le retrait est en effet un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein d'un béton et qui se développe sous diverses formes depuis la prise du béton jusque à son vieillissement. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle.

Pour identifier les tissures de retrait il faut connaître le moment exact d'apparition de ces fissures en suivant leur ordre chronologique d'apparition:

- Fissures apparaissant une ou deux heures après le bétonnage et parfois visibles à travers l'eau de ressuage (encore cause de béton frais). Ces tissures sont provoquées par le tassement de béton frais dans les coffrages et le ressuage qui l'accompagne ou par une sédimentation du béton résultant d'un défaut de compacité provoquant un gradient vertical de (ensemble des caractéristiques physiques et mécaniques,
- Fissures apparaissant juste après le décoffrage: Ces fissures affectent aussi bien les surfaces horizontales que les parements verticaux, elles forment un maillage de quelques décimètres de côté reproduisant ou non le ferrailage sous adjacent. Elles sont plus ouvertes lorsque le retrait thermique en est la cause.
- Fissures apparaissant plusieurs mois après le décoffrage: Ces fissures présentées par le retrait de dessiccation (à long terme). Parmi les facteurs qui interviennent dans développement des tissures de retrait sont:

- La température:
- L'humidité relative du milieu environnement;
- Le choix de la composition de béton E/C.
- La chaleur d'hydratation du ciment.
- Les adjuvants[16]

1.3.4.2 Le cycle gel-dégel:

Les dégradations des bétons dues au gel-dégel se rencontrent dans les régions montagneuses, elles se produisent dans les parties non protégées par des revêtements étanches et sont amplifiées par l'utilisation de sels anti-verglas. Les symptômes les plus courants sont l'écaillage, et le gonflement de béton.

Les paramètres qui influent sur la dégradation des bétons due au cycle gel-dégel:

- La porosité.
- Le degré de saturation.
- La transformation de l'eau en glace en fonction de la température.
- La transformation en glace par augmentation de volume 9%.
- Influence de taux de refroidissement et donc de la vitesse d'évolution du front du gel.

Quand aux sels anti-verglas, ils peuvent provoquer les quatre (04) types: d'agressions suivantes:

- 1) Microfissuration du matériau due au choc thermique créé par le sel qui fait fondre la couche de glace en abaissant la température de support, la chaleur de fusion de glace est de 80 cal/g.
- 2) Écaillage des surfaces qui s'explique habituellement par l'augmentation des pressions osmotiques au voisinage des surfaces en raison de l'augmentation de la teneur en sel.
- 3) Pénétration des chlorures sur plusieurs centimètres de profondeur entraînant la corrosion des aciers.
- 4) Attaque chimique provoquée par la présence d'agents agressifs contenus dans sels anti-verglas (sulfates alcalins). La gélivité des granulats a aussi une influence sur la résistance au gel des bétons, il s'agit des granulés à forte porosité qui permettent l'expulsion de l'eau qui ne peut être absorbée par la pâte de ciment qui les a encore[16].

1.3.5 Dégradations chimiques :

Les armatures en acier sont naturellement protégées par le béton qui libère une solution basique ($\text{pH} > 13$). L'acier des bétons armés est passif. Cependant, plusieurs agents peuvent s'attaquer à cette protection de fait et provoquer des fissurations du béton et un risque potentiel de détérioration des armatures[16].

1.3.5.1 Action des sulfates :

Les sulfates présentent un risque majeur d'agression chimique pour le béton. Ces sulfates peuvent être d'origine naturelle, biologique ou provenir de pollution domestique ou industrielle.

La dégradation par les ions sulfates se traduit par une expansion, par exemple le sulfate de magnésium contenu dans l'eau salée qui comporte également des sels de type chlorure de sodium (NaCl). Chlorure de magnésium (MgCl_2), sulfate de calcium (CaSO_4), hydrogénocarbonate de potassium (KHCO_3) sont les plus nuisibles parmi ces sels.

Ils réagissent avec la chaux hydratée pour donner du gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et de la brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Par ailleurs, son action sur les aluminates du ciment se traduit par la formation d'ettringite ($\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_3 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$). L'expansion due à la cristallisation de l'eau de mer jusqu'aux armatures[16].

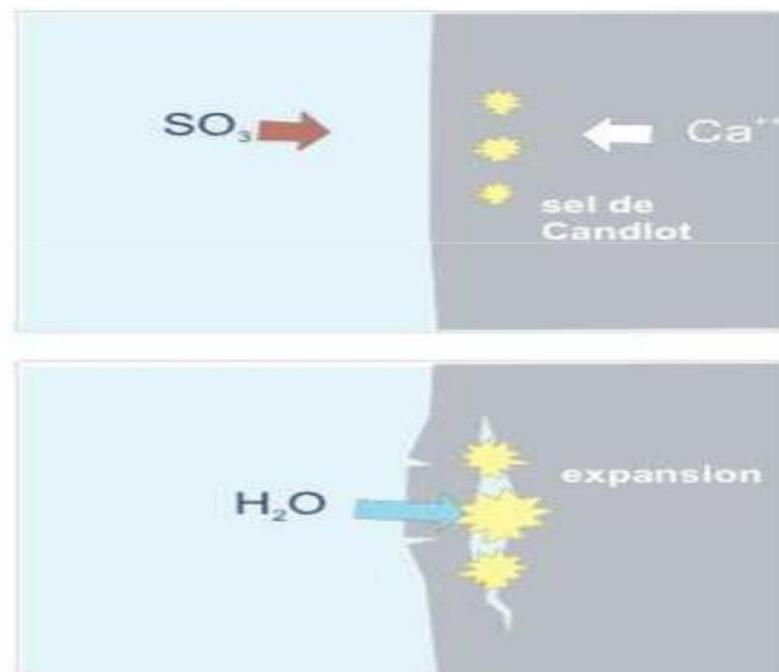


Figure 1-2: Attaque sulfatique[13].

1.3.5.2 Action d'alcali-réaction :

Le premier cas d'expansion lié à l'alcali-réaction a été identifié dans un barrage californien à l'États Unis en 1940. Depuis le problème a été reconnu dans presque tous les pays du monde, mais son importance reste fort variable d'un pays à un autre.

Il existe trois (03) types de réaction :

- La réaction alcali-silice.
- La réaction alcali-silicate.
- La réaction alcali-carbonate.

La plus fréquente est la première, son mécanisme qui est encore mal défini peut cependant être décrit de la façon suivante :

Dans un premier temps, les alcalins qui proviennent essentiellement du ciment (mais aussi dans certains cas de l'altération des granulats du béton en milieu basique, comme les granulats contenant des feldspaths. Des micas ou des argiles).

La solution interstitielle présente dans les pores du béton peut entrer en contact avec les particules de silice réactive présentes à la surface ou dans les fissures des granulats. Il se forme alors un gel de silicate alcalin. Dans un second temps, ce gel de silicate alcalin se combine avec le calcium provenant de la pâte du liant (essentiellement le portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$, car c'est la phase la plus réactive) pour former un gel silicocalco-alcalin, ce peut absorber une grande quantité d'eau; ces derniers aux propriétés expansives conduisent à des désordres structurels sous la forme de faïençage, fissures, Etc.)[16].

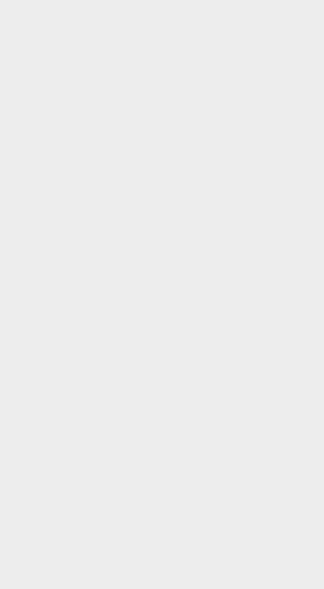
1.3.5.3 Autres attaques (eau de mer, eaux pures):

L'eau de mer est probablement l'un des milieux les plus agressifs qui soit pour le béton, son attaque est le résultat de réactions plus ou moins simultanées entre les sulfates, les chlorures et les constituants du ciment. Les sels de magnésium (MgCl_2 et MgSO_4) sont les plus agressifs.

La substitution Mg^{++} Ca^{++} se fait aisément dans la portland-ite mais aussi dans les C-S-H qui se transforment progressivement en M-S-H silicate de magnésium sans propriétés liantes.

La cause de dégradation la plus importante reste cependant la formation d'ettringite qui engendre un gonflement du matériau puis une fissuration. L'attaque se fait d'abord en surface puis pénètre au cœur du matériau. Les zones les plus atteints sont celles soumises au marnage, car aux agressions d'origine chimique se rajoutent les actions mécaniques des vagues qui enlèvent les parties de béton malades, et les actions physiques liées au cycle séchage mouillage[16].

1.3.6 Les aspects visibles de la dégradation :**Tableau 1-1:** Les aspects visibles de la dégradation[17]

Type de pathologies	Phénomène caractéristique	Risques	Traitements	Images
Lessivage	Le ruissellement de l'eau douce sur le béton dissout le ciment, mettant petit à petit les aciers et granulats à nu.	Pertes importantes de résistance du béton. Corrosion des aciers et éclatement du béton.	Préventif : éviter le ruissellement sur les murs de vos constructions, pensez aux bandeaux à chaque étage. Curatif : effectuer une reprise de bétonnage sur la surface lessivée.	
Alcali-réaction	La silice de certains granulats réagit avec le ciment (composé alcalin) formant un gel qui gonfle le béton et le fait éclater.	Apparitions de réseaux de fissures profondes qui entraînent des désordres structurels dans les années qui suivent.	Les granulats potentiellement réactifs sont signalés par les abréviations PR et PRP. Prenez des granulats NR (non réactifs) pour éviter les problèmes.	
Retrait	Pour différentes raisons (principalement chimiques), le béton va réduire de volume lors de son séchage.	Cette réduction de volume va alors craqueler la surface du béton surtout si elle est empêchée par frottement.	Boucher les fissures qui apparaissent est le seul traitement réellement efficace.	
Carbonatation	La portlandite du ciment réagit petit à petit avec le CO ₂ de l'air. Cette réaction réduit donc le pH du béton de 13 à 9. Lorsque le front de carbonatation atteint les armatures, elles corrodent les armatures qui gonflent et éclatent le béton.	De gros désordres structurels se présentent. Les aciers perdent beaucoup en résistance et le béton risque de rompre.	Il faudra penser à utiliser des bétons peu poreux et composé de ciment avec un minimum de portlandite pour réduire la réaction avec le CO ₂ . Attention ce sont les zones couvertes et cachées de la pluie qui seront les plus touchées, car la carbonatation est maximale à 60 % d'humidité. En cas de forte probabilité d'apparition de la maladie, il est possible de brumiser régulièrement votre béton.	

Attaque des ions chlorures	Les ions chlorures (présents dans l'eau de mer, l'eau des piscines, certains sols et certains granulats) peuvent pénétrer par les fissures ou le réseau poreux du béton pour aller corroder les aciers.	Fissuration du béton. Réduction de la section des aciers résistants. Éclatement local du béton. Apparition de rouille à la surface du béton sous forme de taches non esthétiques.	Il est possible d'utiliser de l'acier inoxydable pour le ferrailage, mais c'est beaucoup plus cher que de l'acier classique. Un traitement au zinc endiguera la corrosion, mais il restera à boucher les trous dus aux éclatements. On peut également utiliser des bétons peu poreux.	
Réaction Sulfatique Interne (RSI)	En cas de fortes températures (65 °C et plus) au cœur du béton au jeune âge, le béton refroidit lentement et la formation d'ettringite (minéral composé de soufre, calcium et d'aluminium qui permet de réguler la prise du ciment) est alors retardée. En contact avec des sulfates (venant de l'eau de mer, du sol ou d'engrais), de l'ettringite expansive se forme alors entraînant un faïençage profond du béton.	Semblables aux risques de l'alcali-réaction	Prendre garde à la classe d'exposition aux sulfates et s'ils sont très importants se tourner alors vers un béton moins alcalin. Ne coulez pas votre béton par des températures trop élevées, en plein été. Utiliser des bétons ayant une faible réaction exothermique. Pour des ouvrages conséquents, il est possible de prévoir des coffrages avec liquide de refroidissement.	

Gel/Dégel	Les cycles gel/dégel fragilisent le béton. L'eau pénètre dans le réseau de fissures et de pores du béton. Lors du gel, cette eau gonfle et va alors éclater localement le béton. Les sels de déverglaçage ont alors un chemin pour corroder les aciers	Fissuration interne par gonflement du béton à cœur. Écaillage du béton à sa surface sous l'effet des sels de déverglaçage.	Utiliser des granulats non gélifs, des entraîneurs d'air pour obtenir des bulles faisant effet de vases d'expansion. Ne pas mettre trop d'eau dans le béton.	
-----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

1.3.7 Phénomènes de transfert dans le béton :

1.3.7.1 Types de transfert :

- Par perméation.
- Par diffusion[13].

1.3.7.2 Paramètres de transfert / circulation :

Ces paramètres concernent les espèces mobiles ou mobilisables:

➤ **Présents dans l'environnement [13]:**

- Eau (liquide, vapeur, glace).
- Air (N₂, O₂, CO₂, SO₂, ...).
- Température.
- Ions (Ce-, SO₂, ...).
- éléments biologiques (bactéries).

➤ **Présents dans le béton[13] :**

- CSH, Ca (OH), et autres hydrates.
- composés qui n'ont pas réagi (eau, ciment: CaSO, CA,).

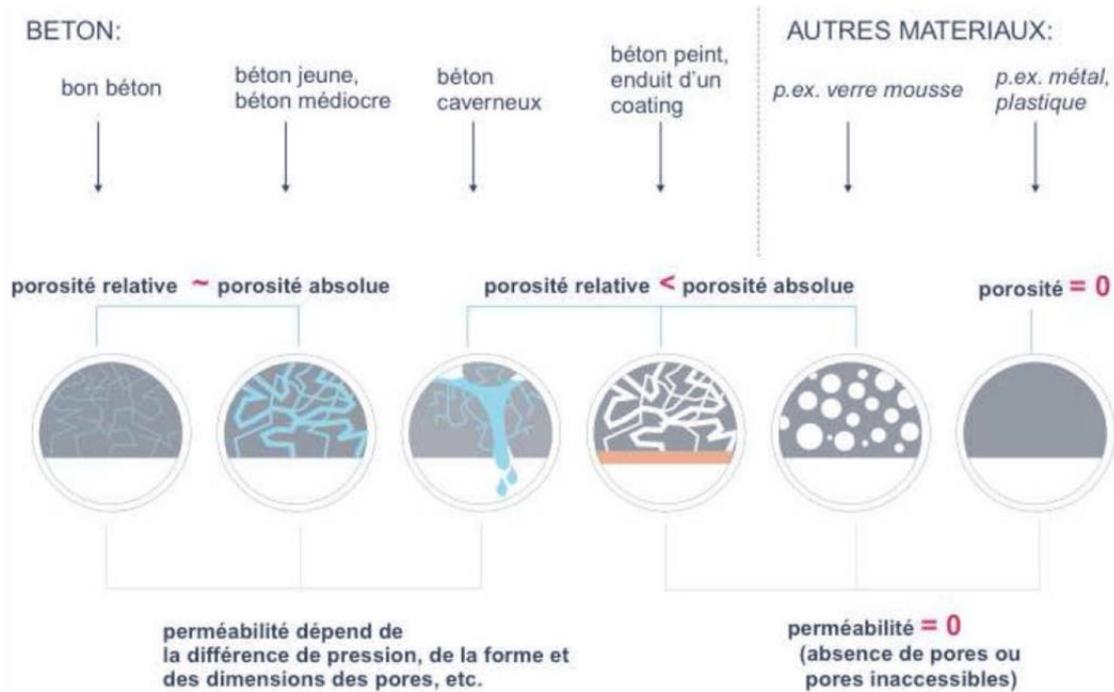


Figure 1-3: Paramètres de transfert[13].

1.3.7.3 Les Solutions pour ralentir les phénomènes de transfert dans un matériau poreux :

- Diminuer la porosité totale.
- Diminuer la connectivité des pores.
- Réduire la taille des pores.
- Augmenter la tortuosité.
- imperméabiliser le béton[13].

1.3.8 Conséquences des désordres :

Ces causes ont toutes comme conséquence la fissuration du béton :

- Favorisant ainsi la pénétration des agents extérieurs générateurs de ces pathologies.
- Diminuant les performances mécaniques.

La fissuration entraîne plus ou moins rapidement la dé-passivation des aciers, qui ne sont donc plus protégés contre la corrosion. La corrosion de ces aciers engendre un gonflement dû à la rouille expansive qui augmente encore la fissuration du béton puis son éclatement.

Le phénomène ne va qu'en s'aggravant et peut conduire à la ruine de l'ouvrage.

Même sévèrement attaqué et endommagé, un ouvrage peut être réparé. Souvent, le coût économique de la réparation comparé à une reconstruction totale sera déterminant.

1.4 La corrosion :

On raison de sa basicité (pH de l'ordre de 13), le béton sain est un milieu naturellement protecteur pour les armatures autour desquelles se forme un film passif (solution solide Fe_3O_4 - Fe_2O_3) qui réduit la vitesse de corrosion à une valeur négligeable. Dans certaines conditions, comme la carbonatation du béton d'enrobage ou une teneur critique en chlorures, cet équilibre peut être rompu en entraînant une dé-passivation de l'acier et l'amorçage d'un phénomène de corrosion. Dans les deux cas, la destruction du film passif et la dégradation du métal mettent en jeu un mécanisme de piles électrochimiques avec des zones anodiques, des zones cathodiques et un milieu électrolytique constitué par la solution interstitielle du béton[18].

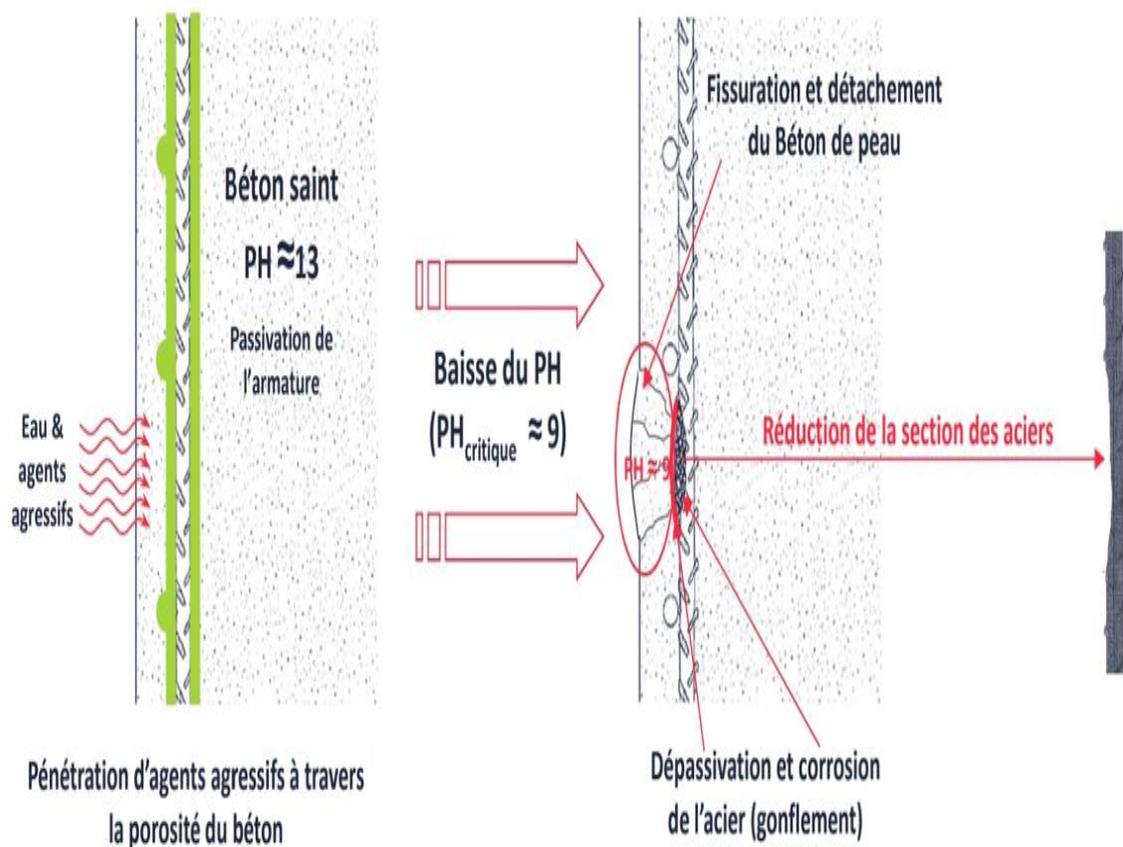


Figure 1-4: Corrosion des armatures[13].

1.4.1 Phases de dégradation liée à la corrosion :

Dans la durée de vie d'une structure en béton armé, on peut distinguer deux périodes: Une période d'initiation et Une période de propagation[19].

1ère période : (phase d'initiation)

Au départ, l'acier est protégé par le film passif qui empêche le processus de la corrosion. Ensuite, durant la phase d'initiation, les agents agressifs pénètrent dans le béton et attaquent les armatures qui se dé-passives progressivement. La période d'initiation correspond au temps requis pour que les aciers soient dé-passivés sans qu'aucun dommage intérieur ni extérieur ne soit visible.

2ème période :

C'est une période de propagation, où les réactions d'oxydation à la surface du métal produisent des oxydes et hydroxydes. La formation de ces produits d'oxydation va causer un gonflement et apparaître des fissurations sur l'enrobage de béton et à long terme causé la destruction de la construction.

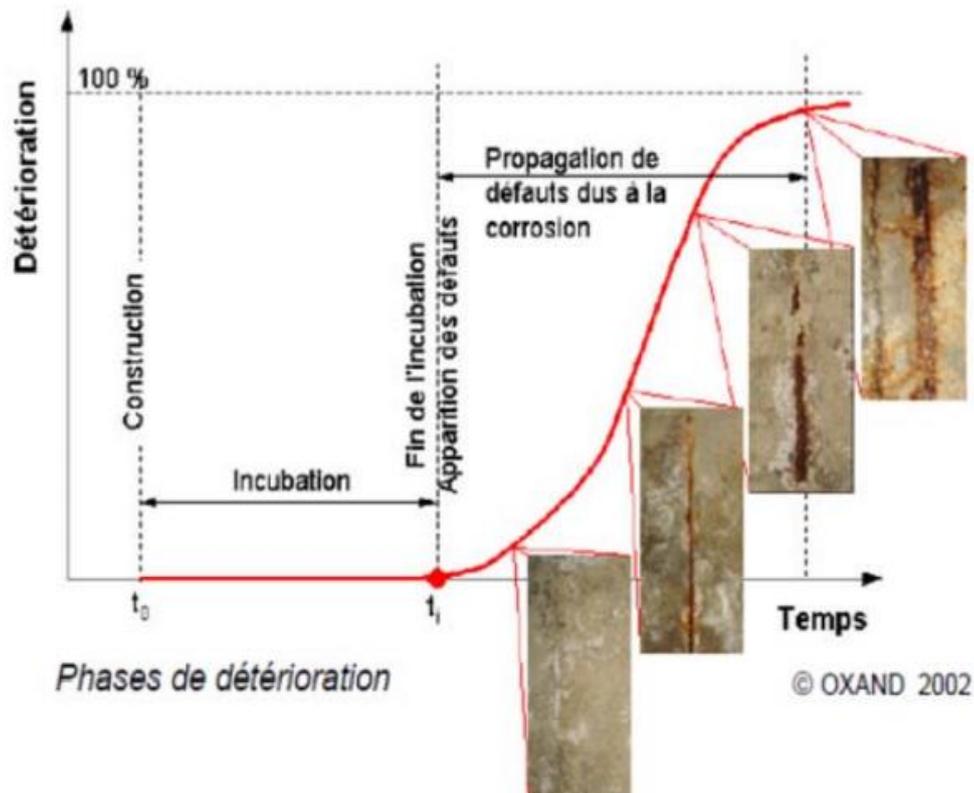


Figure 1-5: Phases de dégradation[19].

1.4.2 Attaque par les chlorures :

Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dé-passivant la couche superficielle. la corrosion qui en résulte sous forme de piqures à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve forment augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est auto-catalytique.

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes :

-Soit ils sont présents au moment du gâchage. Utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés.

-Soient ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton. Les chlorures existent sous deux formes dans le béton[20].

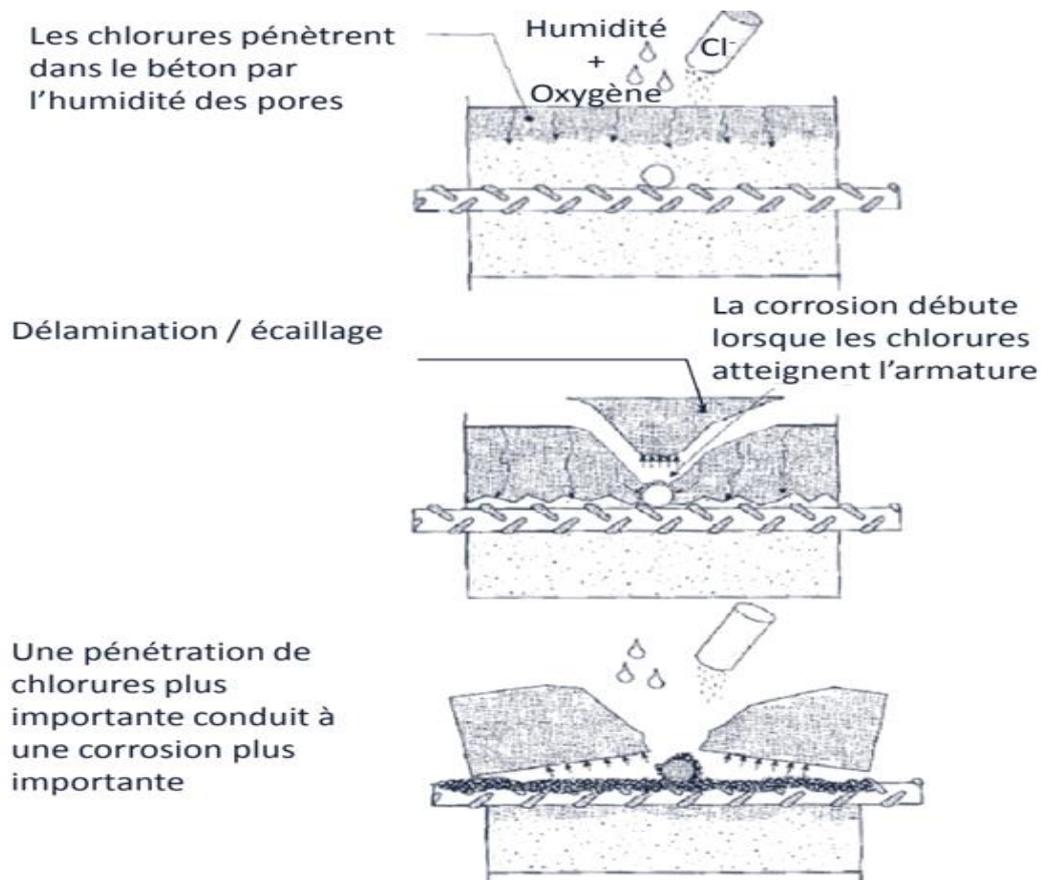


Figure 1-6: Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle[20].

1.4.3 Attaque par la carbonatation :

Ce phénomène correspond à une réaction chimique induite par la pénétration du dioxyde de carbone CO_2 de l'air dans le béton. La réaction chimique établit comprend comme réactifs le CO_2 présent dans l'atmosphère en faible proportion, qui se dissout dans l'eau et forme l'acide H_2CO_3 . L'acide réagit avec la portlandite (hydroxydes de Calcium) pour former des carbonates de calcium et de l'eau, selon la figure suivante [20].

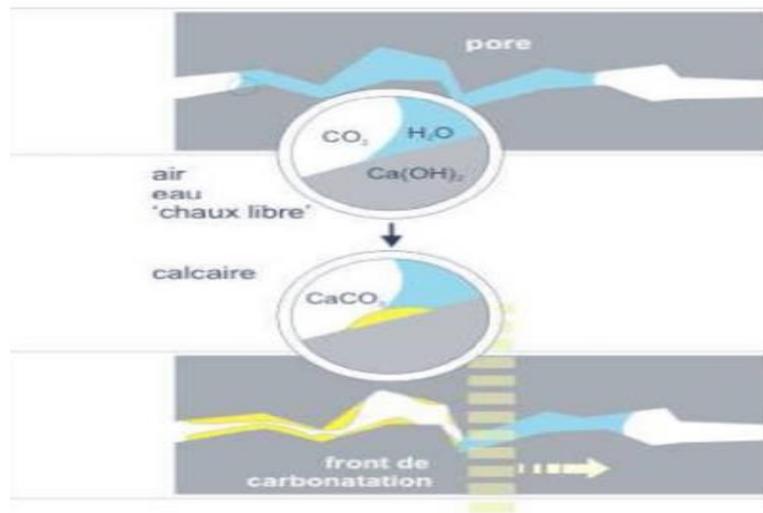


Figure 1-7: Formule et schéma de carbonatation[13].

La portlandite est essentielle pour maintenir un PH élevé, ce qui protège les armatures du béton armé et empêche la formation de micro-organismes. Et lorsqu'elle n'est plus suffisamment accessible pour réguler le PH, le milieu s'acidifie, permettant ainsi la corrosion des armatures[20].

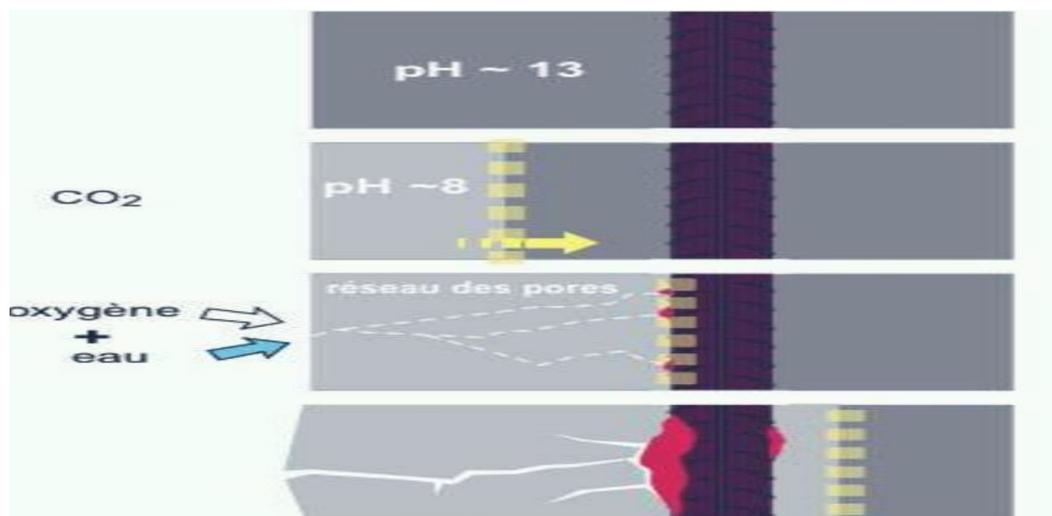


Figure 1-8 : Mécanisme de carbonatation[13].

1.4.4 Facteurs influents de la corrosion :

La tenue, face à la corrosion des armatures dans le béton est fonction des paramètres concernant l'acier et le béton ainsi que des propriétés existantes à leur interface. Cela est déterminé par la composition de la solution interstitielle du béton et des caractéristiques métallurgiques de l'acier. Les facteurs environnementaux (humidité, température, dioxyde de carbone, ions chlorure) ne peuvent affecter directement le processus de corrosion mais ils peuvent causer des dégradations du béton et accélérer l'entrée d'espèces agressives rendant la solution interstitielle en contact avec l'acier plus corrosive.

Lorsqu'ils atteignent les armatures, les ions chlorure et le dioxyde de carbone sont tenus pour responsables de la plupart des cas de corrosion des structures en béton armé. La température et l'humidité, tout comme les autres facteurs pouvant détériorer le béton, jouent aussi un rôle important dans la corrosion des armatures.

La corrosion de l'acier n'est donc pas dépendante d'un unique paramètre mais de plusieurs dont les interactions concourent ou non à la corrosion[20].

1.4.4.1 Influence de l'enrobage :

L'épaisseur de l'enrobage en béton détermine le temps que vont mettre les espèces agressives pour arriver à l'armature. Parfois, la durée de vie d'une structure peut être fortement améliorée en augmentant l'épaisseur de l'enrobage, barrière mécanique freinant, voire stoppant la pénétration d'espèces participant à la corrosion des armatures[21].

1.4.4.2 Influence de (rapport E/C):

Comme pour le problème de carbonatation, la migration des ions chlorures à travers la structure poreuse d'un béton est fortement liée aux propriétés de transfert de béton (diffusivité et perméabilité). Powers et Al ont mis en évidence l'importance de la diminution de la perméabilité d'une pâte de ciment lorsque le rapport E/C diminue au-dessous d'un rapport critique $E/C=0,70$. Pour des rapports E/C plus élevés, le réseau de capillarité reste toujours interconnecté même si l'hydratation du ciment reste complète[21].

1.4.4.3 Influence de l'humidité :

L'effet du taux d'humidité, ou degré de saturation en eau, dans le béton est important car la vitesse de corrosion dépend fortement de ce taux, celui-ci influençant directement la conductivité, la résistivité électrique et la diffusion de l'oxygène.

Pour des taux d'humidité inférieurs à 80%, l'oxygène atteint facilement les aciers mais la faible conductivité du béton augmente mais la faible conductivité du béton limite la vitesse de corrosion. Plus le taux d'humidité augmente, plus la conductivité du béton augmente mais en contrepartie la diffusion de l'oxygène vers les armatures se fait de plus en plus difficilement. L'humidité relative la plus favorable à l'apparition de la corrosion est de 70 à 80%.

La corrosion des aciers, dans le cas des structures ou des parties de structures immergées, ne constitue généralement pas un problème majeur puisque l'oxygène ne parvient que très difficilement à atteindre les armatures[22].

1.4.4.4 Effet de l'oxygène :

Dissous dans la solution interstitielle, l'oxygène est primordial dans la réaction cathodique du processus de corrosion des armatures dans le béton[22].

Plus la teneur en oxygène n'est importante, plus la vitesse de dissolution de l'acier augmente.

1.4.4.5 Autres agents agressifs :

Des sels, contenus dans l'eau pénétrant le béton, peuvent contribuer à la formation de produits de corrosion sur l'acier. Ainsi, les ions sulfate agissent qualitativement comme les ions chlorures et certains sels solubles tels les perchlorates, les acétates, les halogénures autres que les chlorures peuvent aussi être corrosifs pour les armatures[21].

1.4.5 Conséquences des désordres provoquent par la corrosion :

➤ **L'aspect de l'ouvrage :**

- Une fissuration qui se généralise
- Épaufures
- Diminution de la section résistante de l'armature.
- Diminution de la résistance en traction des aciers
- Diminution de la résistance en compression du béton
- Dégradation de la quantité de l'enrobage
- Diminution de la résistance en flexion a partir de(1,5%) de corrosion (12%) de perte pour (4,5%) de corrosion[13][23].

➤ **La sécurité vis-à-vis des usagers**

Les éclats de béton présentent un risque pour les personnes qui circulent près de l'ouvrage ou l'exploitent. Leur prévention et leur élimination doivent par conséquent être traitées avec grand soin [23].

➤ **La stabilité de la construction**

Des essais effectués sur des éprouvettes ont permis d'estimer les valeurs des forces d'adhérence pour des éléments en béton dont les armatures sont corrodées. Il est apparu que ni la qualité du béton, ni le rapport enrobage/diamètre d'armature n'influent sur la force résiduelle d'adhérence, même si l'enrobage est fissuré par la corrosion de l'armature sans qu'il ne soit détruit par éclatement[23].

1.4.6 Mesure de prévention :

➤ **Protection contre la corrosion :**

- Lors de formulation du béton : réduire le rapport E/ C.
- Lors de mise en œuvre : augmenter l'épaisseur d'enrobage.
- Après réalisation : utilisation des produits de revêtement adéquats [13].

➤ **Protection contre les attaques sulfatiques :**

- Lors de formulation du béton :
 - réduire le rapport E/C.
 - Utiliser des ciments HRS ou riche en laitier de haut fourneau.
 - dosage plus élevé en ciment.
- Lors de la mise en œuvre : augmenter l'épaisseur d'enrobage.
- Après réalisation : utilisation des produits de revêtement adéquat [13].

➤ **Protection contre les risques du gel/dégel :**

- Lors de la formulation du béton :
 - réduit le rapport E/C.
 - utiliser des ciments de classe 42,5R ou 52,2N ou 52,5R.
- Lors de mise en œuvre :
 - ne pas bétonner par temps froid (<5°C les première 72heures).
 - protéger par des matériaux isolants au jeune âge (ex : polystyrène).
- Après réalisation : Application de sels de déverglaçage.
- Utilisation d'adjuvant entraîneur d'air lors de malaxage[13].

1.5 Mortier de réparation :

Un mortier de réparation est un élément de la construction obtenue en mélangeant du sable, d'un liant (chaux ou ciment), de l'eau et de fibres et d'additifs. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts dosage en eau. Il permet de réaliser des travaux de remise en état et de protection des ouvrages en béton et en matériaux rigides (par exemple la pierre). Il existe deux phénomènes qui affectent tout particulièrement les structures en béton : la dégradation des matériaux et la corrosion des armatures[3].

Pour qu'une réparation soit efficace, il faut évidemment qu'elle puisse résister aux diverses sollicitations mécaniques ou aux attaques du milieu environnant.

1.5.1 Caractéristiques de mortier de réparation :

Le mortier utilisé doit avoir les caractéristiques suivantes [20] :

- Tenue verticale sans coffrage,
- Montée en résistance rapide et de résistance mécanique supérieure au béton support.
- Adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support,
- Coefficient de dilatation thermique et de module d'élasticité équivalente au béton support.
- Bonne protection des aciers.
- Compatibilité mécanique avec le béton existant.
- Retrait contrôlé.
- Imperméabilité et résistance face à l'agression chimique du dioxyde de carbone, des chlorures et des sulfates.
- Facilité de mise en œuvre.
- Conforme à la norme.

Tableau 1-2 :Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des produits les plus utilisés[24]

Caractéristiques	LHM (1)	EP	PUR	EP-C
Adhérence sur support sec	+	+++	++ (2)	++
Adhérence sur support humide	++	+	-(3)	+
Adaptation à la fissuration du support	+	+	++ ou +++	+
Effet passivant Module d'élasticité	+++	0 (4)	0 (4)	++ ou +++
Compatibilité thermique	+++ (5)	+(5)	+(5)	++ (5)
Résistance à l'abrasion	++ (6)	+++ (6)	++ (6)	++ (6)
Résistance à la pénétration des liquides sous pression	++	+++ (7)	+++ (7)	++
Fluage à 20 °C à 50 °C	Faible faible	Moyen élevé	Élevé élevé	Moyen moyen
Retrait	Moyen	Faible	Faible	Moyen

- LHM : produit à base de liants hydrauliques modifié par ajout de polymère organique.
- EP : produit à base de résine époxyde.
- PUR : produit à base de polyuréthane.
- EP-C : produit mixte à base de résine époxyde et de ciment.
- (+++) : Plus le nombre de + est élevé, mieux le produit est adapté à la caractéristique recherchée.
- (-) : non recommandé.
- 0 : le produit ne répond pas à la question posée[24].

1.5.2 Interaction des mortiers de réparations avec les supports :

Préparation de la surface du béton à réparer: Après le passage obligé du diagnostic, la réparation convient tout d'abord de distinguer les réparations qui visent des éléments de structure proprement dite peut être abordée et le processus comporte plusieurs phases qui ont chacune une finalité bien précise. Dont la dégradation nuit à la résistance et pourrait mettre en cause la stabilité, des réparations qui visent des éléments de façade, dont la dégradation n'est susceptible de compromettre la stabilité que très rarement mais la conservation d'aspect est souvent primordiale. Dans le premier type, auquel se rattache le nombre de réparations concernant des ouvrages de génie civil, il s'agit non seulement de rétablir la protection des éléments de la structure, mais aussi de rétablir, voire renforcer, la résistance de cette dernière[25].

a) Première phase :

Élimination du béton dégradé. Il s'agit d'éliminer les éclats de béton en cours de formation. L'opération consiste à repérer à l'oreille, en frappant la surface du béton, les zones qui « sonnent creux » et donc qui sont affectées d'une fissure interne engendrée par la poussée des armatures oxydées. Le principal écueil à éviter est la création d'une micro fissuration parasite dont le nettoyage de surface ultérieur n'assure pas avec certitude l'élimination des micro - éclats. Il est conseillé de dégager sur toute leur périphérie les parties défectueuses pour faciliter la tenue du mortier de réparation, de ménager une contre - dépouille à la périphérie des trous obtenus par élimination des éclats de béton, ce qui permet d'éviter aussi les bords « en sifflet » qui favorisent le grillage » de périphérie du mortier de réparation[25].

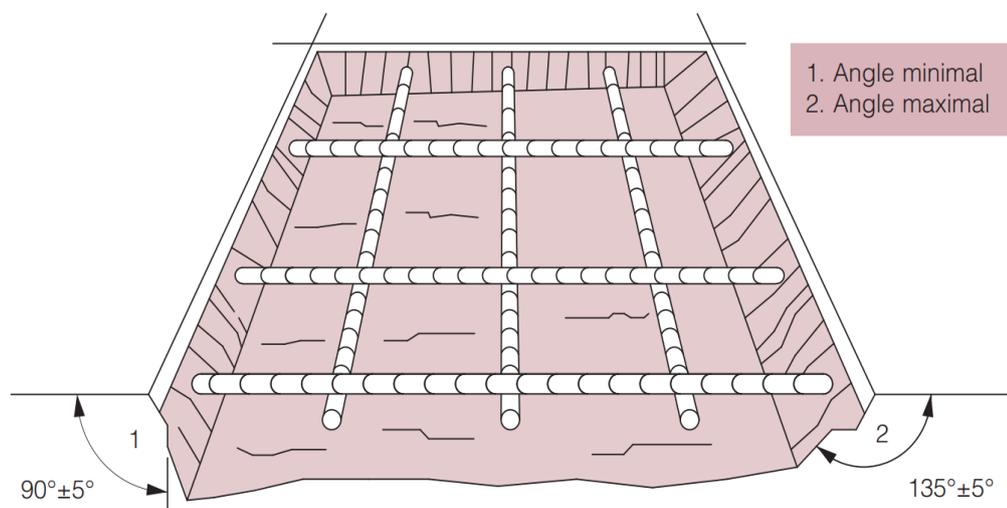


Figure 1-9:Élimination du béton dégradé[25].

b) Deuxième phase :

Nettoyage des surfaces Cette deuxième phase est nécessaire pour faire disparaître toute poussière ou souillure afin d'assurer une bonne adhérence au support du produit de couverture ou du primaire d'accrochage. Plusieurs méthodes de nettoyage sont utilisées, mais il faut d'abord s'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et la composition du produit de couverture. On distingue les méthodes à sec (brossage, aspiration, soufflage à l'air sec déshuilé) et les méthodes humides.

c) Troisième phase:

Traitement ou remplacement des armatures existantes: Les armatures existantes devant être intégrées au béton neuf doivent être débarrassées de toute trace de corrosion, huiles, saleté, et de tous corps étrangers. A cet effet, on procède par grattage par frottement à la brosse métallique manuelle ou mécanique ou par projection (sablage ou grenailage). Si l'on doit ajouter de nouvelles barres d'armature, il faut se rappeler que les barres d'origine, si elles ne sont pas rompues, continuent à supporter des efforts. En outre, si au cours de la réparation les charges sur l'ouvrage n'ont pas été diminuées, les nouvelles armatures ajoutées à l'ouvrage seront soumises à des contraintes plus faibles que les armatures existantes. Pour que les nouvelles armatures prennent en compte une partie de la charge, il faut que les contraintes dans le béton augmentent. La répartition des contraintes qui en résulte doit être étudiée.

d) Quatrième phase :

Reconstitution de la couverture des surfaces réparées. Il s'agit de combler les vides laissés autour des surfaces voisines par la purge du béton dégradé, au moyen d'un remplissage adhérent présentant, vis-à-vis des futurs agents de détérioration, une résistance meilleure que celle du béton qu'il remplace. Le tout afin d'éviter une réapparition rapide des mêmes désordres aux mêmes endroits. Le plus souvent cette fonction est assurée non pas par un béton, mais par un mortier. Soit un mortier ordinaire de ciment, soit un mortier à base de liants hydrauliques.

e) Cinquième phase :

Mise en place d'un revêtement de protection superficiel. Dans le cas d'une intervention localisée, des raisons d'esthétique imposent pratiquement la mise en place d'un revêtement d'aspect pour uniformiser l'apparence de l'ouvrage. Il est donc souhaitable de profiter de la

nécessité de ce revêtement pour lui conférer des propriétés autres que celle du simple aspect et notamment une protection du support vis-à-vis des échanges gazeux (carbonations) et hydriques et de souplesse vis-à-vis d'éventuelles amorces de fissuration.

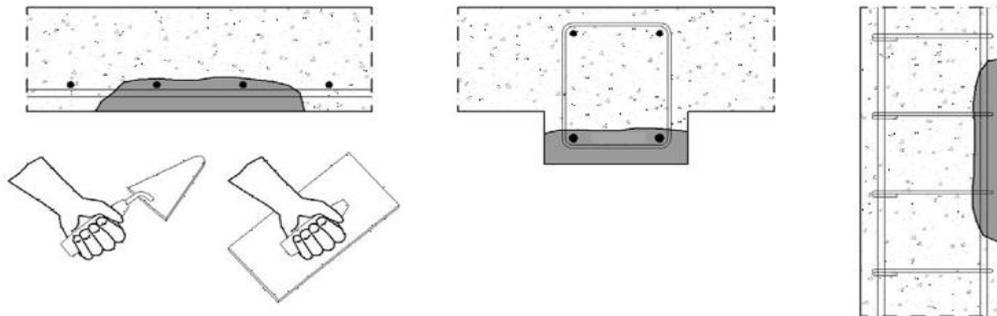


Figure 1-10: Mise en place d'un revêtement de protection superficiel [25].

1.6 Conclusion

Dans la présente étude nous avons recensé les différentes dégradations qui peuvent affecter surtout les ouvrages en béton. Nous avons aussi présenté les causes de dégradation, les moyens de les identifier et les méthodes de réparation. La conclusion que nous avons tirée de la présente étude est que les dégradations des ouvrages en béton ont essentiellement pour origine :

- mauvaise qualité des matériaux.
- mauvaise qualité de la mise en œuvre du béton.
- faute de conception.
- absence d'étude détaillée des propriétés physiques, chimiques et mécanique des sols.
- absence d'étude de l'influence des facteurs environnementaux sur le comportement à long terme des constructions en béton.

Le but d'utilisation des mortiers de réparations sur les ouvrages en béton armé, est de rendre les sections d'acier et de béton plus fort et durable.

Un mortier de réparation veut dire :

- Une bonne adhérence avec le béton support.
- Comprendre les caractéristiques du béton.
- Faible retrait pour réduire le risque de fissuration.
- Performances thermiques comparables pour éviter le délaminage.
- Bonne ouvrabilité pour faciliter la mise en œuvre.

**Chapitre2: Revue
bibliographique : Influence
des fines de brique et les
fibres végétales sur les
performances des mortiers.**

2.1 Introduction :

Actuellement, afin de développer des matériaux de construction qui respectent l'environnement. Des chercheurs ont fait des efforts considérables. Parmi ces matériaux écologiques, les fibres végétales provenant du secteur forestier ou agricole sont considérées aujourd'hui comme une alternative intéressante aux fibres classiques (amiante, verre, carbone et aramide). Et aussi des fines de brique recycler, leur valorisation permet de contribuer à la résolution du problème de stockage des déchets, à la réduction de la pollution de l'environnement et à la diminution du coût de construction.

2.2 Fine de brique recyclé (FBR)

2.2.1 Introduction :

L'accélération de l'urbanisation à l'échelle mondiale génère une grande quantité de déchets de construction et de démolition [26]. Selon les différents rapports, La Chine, qui est le plus grand pays en développement du monde, produit chaque année environ 1,8 milliard de tonnes de déchets issus des activités de construction et de démolition. Cette production restera élevée pendant un certain temps en raison de l'accélération du processus d'urbanisation en Chine [27]. L'Union Européenne et les États-Unis produisent respectivement 800 et 700 millions de tonnes de déchets de construction et de démolition chaque année [28]–[30], d'autres pays dans le monde sont également confrontés au même problème à des degrés divers [26], [31]. La méthode traditionnelle d'élimination des déchets urbains implique leurs collectes par les services d'assainissement de l'environnement puis leurs élimination à l'air libre ou dans des décharges. Cette méthode nécessite des grandes surfaces, et cause de graves problèmes environnementaux et sociaux [26], [28]. D'autre part, l'industrie de la brique et de la tuile produit un grand nombre de déchets en raison du risque de casse, de déformation ou de sur-cuisson durant le processus de production. Ce matériau est le plus souvent déversé dans les sites autour des briqueteries. D'après les estimations l'Algérie produit environ 21 millions tonnes de déchet de brique chaque année (Figure 2-1). La Belgique produit chaque année environ une tonne de déchets de démolition et de construction par habitant, cette masse de gravats se compose de 41% de déchets de brique [32]. En France par exemple 34% de l'ensemble des déchets est issu de la brique, de la tuile, de la céramique et du béton. Ces déchets sont devenus un problème mondial majeur qui doit être résolu en toute urgence, par conséquent, se pose la problématique de la réduction de ces déchets, leurs recyclage et leurs neutralisation des déchets urbains.

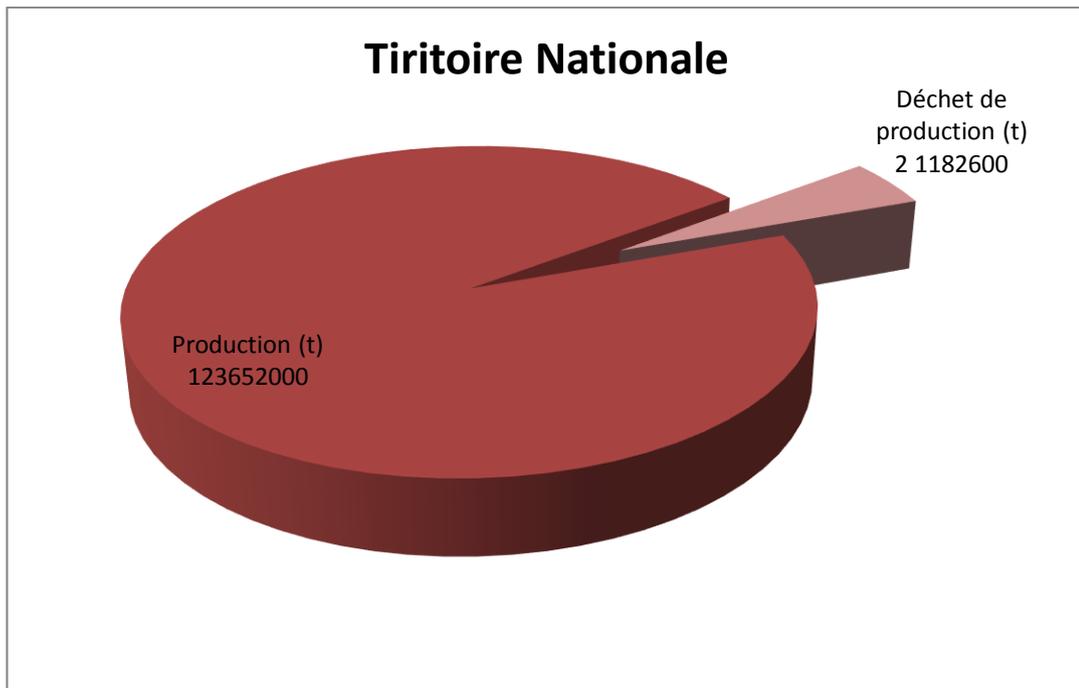


Figure 2-1: Production et déchet de brique en Algérie.

2.2.2 Définition de brique :

Une brique est une roche artificielle de forme parallélépipédique rectangulaire de dimensions bien définies. La brique est un matériau de construction à base d'argile, préalablement façonnée, à une température appropriée, appelée température de frittage. Les particules d'argile commencent à se fondre puis s'agglomérer pour former une masse pierreuse. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, ce qui lui confère également des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction.

Généralement, les briques sont fabriquées selon deux procédés :

- le procédé plastique : l'argile est humidifiée de 20 à 25% d'eau.
- le procédé semi-salin : l'argile est humidifiée de 8 à 12% d'eau.

Après séchage, les briques sont cuites de sorte qu'elles deviennent dures. La cuisson se fait soit dans un four périodique ou dans un four continu[34].

2.2.2.1 Type de brique :

On distingue différents types de briques [35]:

- La brique de terre crue : ce type peut aussi contenir des fibres de pailles, lin, crin, etc.
- La brique de terre compressée

-La brique cuite pleine : c'est un matériau traditionnel, qui peut être sous forme de brique pleine perforée ou les perforations sont perpendiculaires au plan de pose,

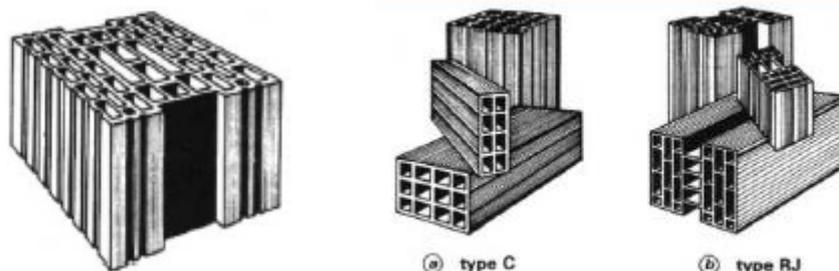
-La brique légère isolante : elle est composée de terre silico-magnésienne qui n'a aucune consistance, mélangée à un 5% d'argile plastique produisant ainsi des briques très poreuses aussi résistantes que des briques ordinaires. Ce type de brique est un mauvais conducteur de la chaleur.

-La brique cuite creuse : plus légère et plus isolante, elle est la plus utilisée dans le domaine de la construction, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas réduire sa résistance à la pression,

-La brique de chanvre : celle-ci a de très bonnes propriétés d'isolation thermique,

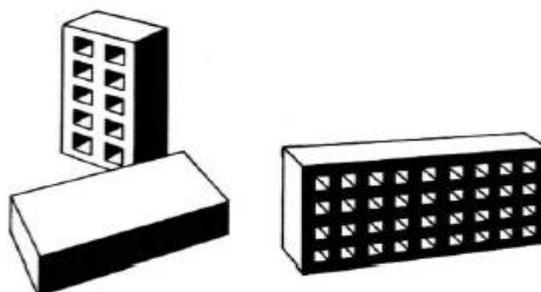
-La brique non gélive

-La brique réfractaire : idéale pour les ouvrages à très haute température tel que les fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.



Bloc perforé

Briques creuses



Brique pleine et briques perforées

Figure 2-2: Quelques types de briques[35].

2.2.3 Procédés de recyclage :

Les déchets récupérés sont dans un premier temps nettoyés puis concassés en petites particules. En suite s'en suivra l'opération de broyage afin d'obtenir des granulats plus fins. Ces granulats sont tamisés afin de les séparer et ne prendre que les grains de diamètre nécessaire pour leur utilisation dans les mortiers[36].

La Figure 2-3, montre le processus de préparation de fine de brique recyclée. Qui comprend principalement la collecte, le concassage, le broyage et le tamisage [37]. En outre, des FBR avec différentes finesses Blaine (SSB) peuvent être obtenues en fonction de différentes exigences en modifiant le procédé de broyage. Pour mieux appréhender les propriétés physiques et chimiques des FBR, les chercheurs ont étudié la composition chimique, composition minérale et la morphologie microstructurale de la FBR au moyen de la diffraction des rayons X (XRD) et de la microscopie électronique à balayage (MEB), respectivement.

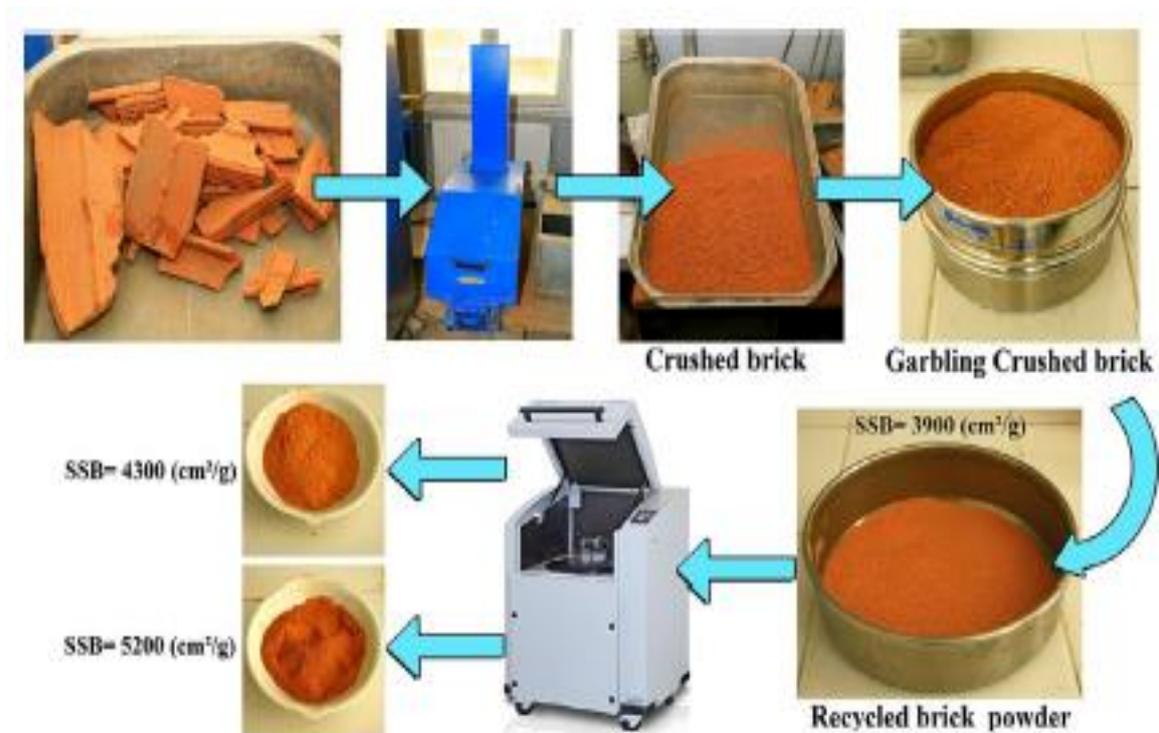


Figure 2-3:Processus de préparation de fine de brique en laboratoire[37].

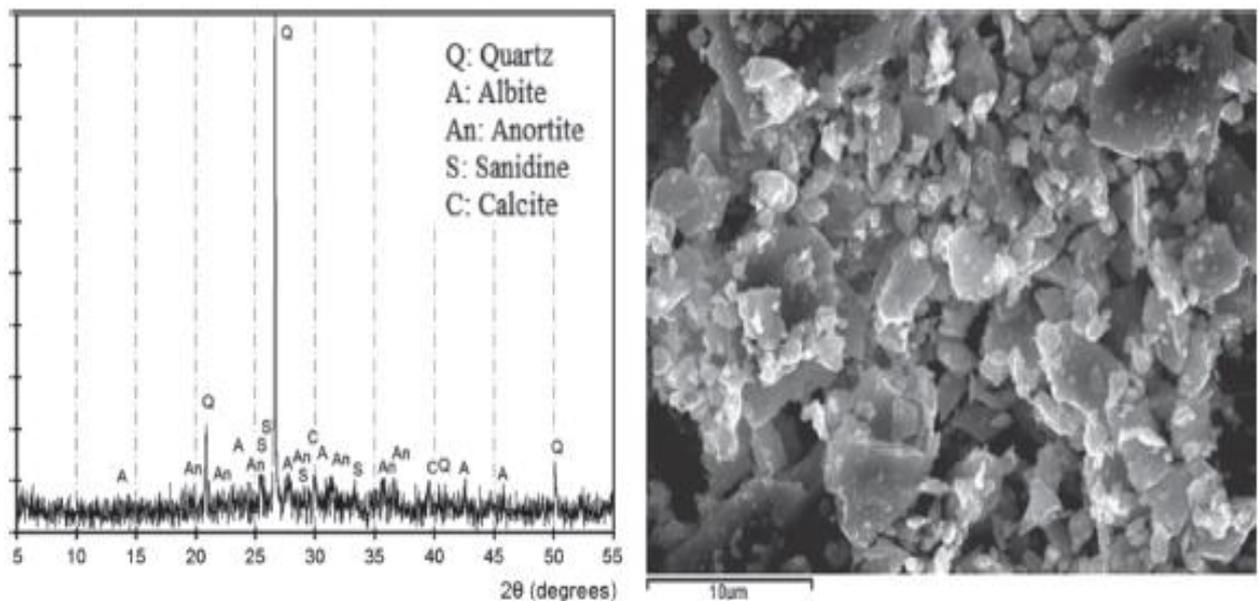
2.2.4 Propriétés physiques et chimiques de FBR :

Le Tableau 2-1 résume la composition chimique des FBR étudiés par plusieurs chercheurs. La quantité totale de SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ dans les FBR dépasse 70%, ce qui répond aux exigences de la norme ASTM C618 pour le contenu de la composition chimique principale de matériau pouzzolanique. Par conséquent, les FBR peut être considéré comme un type de matériau pouzzolanique potentiel [38], [39]. Pour définir avec précision si les FBR est un matériau pouzzolanique, il est nécessaire de faire un jugement en se basant sur les propriétés chimiques et physiques des matériaux pouzzolaniques requises par les différents pays.

Tableau 2-1 : Composition chimique de FBR

Composition chimique (%)									Référence
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	
58,80	19,60	6,90	5,70	2,80	2,90	1,50	0,80	0,70	J.Fort et al. 2018[40]
61,25	17	11,34	1,67	1,62	3,3	2,04	0,96	0,24	C.L.Hwanget .2019 [39]
66,15	15,36	2,95	5,98	2,13	2,77	0,89	/	0,11	M.Tuyan et al.2018[41]
66,55	14,8	6,15	5,48	2,39	2,13	/	/	/	I.Irki et al.2018[37]
60,56	17,16	10,7	3,46	1,78	2,5	1,26	/	0,34	S.Li et al. 2019[42]
66,72	21,21	0,21	6,22	0,48	0,85	/	1,37	/	A.Schakow et al.2015[43]
41,47	39,05	0,63	12,73	/	2,81	/	1,03	1,59	V.Letelier et al.2018 [44]
64,46	16,94	3,23	6,13	2,59	1,89	2,16	1,47	0,13	D.Gyorgy et al.2019[45]
66,54	16,88	4,24	6,62	2,73	2,41	1,03	/	0,46	S.Walid et al.1997[46]

Reig et al. [47] et Xue et al. [48] ont testé la teneur en substances actives dans les FBR. Ils ont confirmé que les matériaux pouzzolaniques étaient de bonne qualité. Dans ce dernier. En effet, au cours du frittage de la brique, la perte d'eau combinée dans les minéraux argileux conduit à la décomposition du réseau cristallin formé par les constituants de l'argile, et la silice et l'alumine restent dans un état amorphe désordonné et instable. La teneur de la phase amorphe détermine le degré d'activité pouzzolanique dans un FBR[49]–[51]. En outre, la taille des particules est l'un des principaux facteurs affectant l'activité pouzzolanique d'une FBR. Une petite taille de particule favorise la réaction pouzzolanique en raison d'une augmentation de la surface spécifique d'une FBR[49]–[51]. Les résultats de la XRD montrent que la phase cristalline principale dans le FBR est le quartz, qui comprend également de l'albite, de la calcite, de l'anorthite et de la sanidine (Figure 2-4(a)). Comme le montre la micrographie MEB de la (Figure 2-4(b)), la surface de la FBR est angulaire et de forme irrégulière. Les recherches de Zhao et al.[52] ont montré que les FBR ont tendance à être affinées et sphériques avec l'augmentation du temps de broyage, ce qui augmente la surface spécifique et l'activité pouzzolanique des FBR. Cependant, considérant qu'un long temps de broyage provoque l'agglomération des FBR et augmente la consommation d'énergie, un long temps de broyage n'est pas la meilleure solution.



(a) Schéma XRD

(b) Micrographie MEB

Figure 2-4: Composition minérale et microstructure de FBR[47], [53].

2.2.5 Effet de la FBR comme substitution partielle du ciment :

L'un des critères souhaités pour les matériaux à utiliser en remplacement partiel du ciment est la présence d'une réactivité pouzzolanique. Les pouzzolanes sont des matériaux à contenu amorphe siliceux et alumineux qui réagissent avec l'hydroxyde de calcium en présence d'eau, pour former des silicates hydratés de calcium (CSH) et d'aluminium (CASH), pour améliorer les propriétés des matériaux à base de ciment.

Le Tableau 2-2 résume quelque recherche précédente qui a été effectuées pour évaluer l'influence du niveau de remplacement de la poudre de brique dans le béton et le mortier. La plupart des chercheurs ont utilisé la résistance à la compression comme indicateur primaire pour déterminer le niveau optimal de poudre de brique dans le béton ainsi que l'effet de la finesse de la poudre de brique. En outre, en raison de l'influence possible sur les propriétés de durabilité du béton/mortier résultant, plusieurs recherches ont été menées pour évaluer la résistance chimique, le retrait au séchage et les comportements d'expansion[30].

Tableau 2-2: Résumé quelque recherche précédente sur la FBR.

Référence	Taux de remplacement	Résultats
Ge et al. (2012) [54]	10% - 30%	La réduction de la résistance à la compression était minimale jusqu'à 25 % de remplacement ; un remplacement supplémentaire jusqu'à 30 % réduit la résistance d'environ 29 %. La réduction de la résistance à la flexion était d'environ 16% lorsque le niveau de remplacement est passé de 10 à 30 %.
Afshinnia et al(2015) [55]	10%-50%	L'indice d'activité de résistance a été réduit avec l'augmentation de 10% à 50% de poudre de brique. L'indice de résistance à 28 jours était d'environ 92%, 86% et 59% pour un remplacement de 10%, 25% et 50% respectivement. Les valeurs d'expansion de tous les spécimens contenant de la poussière de brique ont été réduites.
Olofinnade et al. (2016) [56]	10%-40%	La résistance à la compression optimale (augmentation jusqu'à 9%) pour un taux de remplacement de 10%. Le niveau de remplacement de 20% a montré une résistance comparable à celle des spécimens de contrôle.

NacerietHamina (2009) [57]	5%-20%	<p>La demande en eau a augmenté lorsque la teneur en poudre de brique augmentait.</p> <p>Les mortiers avec un remplacement allant jusqu'à 10% ont des résistances à la compression et à la flexion à 90 jours comparables à celles du mortier témoin.</p> <p>Jusqu'à 20 % d'augmentation du retrait à 28 jours pour un remplacement allant jusqu'à 20 %.</p>
Gonçalves et al. (2009) [9]	10%-40%	<p>La sorptivité et la pénétration des chlorures ont été réduites de 50 % et 40 % pour un remplacement de 10% et 20 %, respectivement.</p> <p>Le taux de remplacement au-delà de 20% a montré une diminution de la résistance, ainsi qu'une augmentation de la sorptivité et de la pénétration des chlorures.</p>
Toledo Filho et al. (2007) [58]	10%-40%	<p>L'influence d'un niveau de remplacement allant jusqu'à 20% sur la résistance à la compression était minime pour un rapport E/C de 0,40 et 0,50.</p> <p>Un remplacement supplémentaire jusqu'à 40% a réduit la résistance à la compression d'environ 13 % et 35 % pour un rapport E/C de 0,40 et 0,50 respectivement.</p> <p>Le taux de pénétration des chlorures a été réduit par l'augmentation de la teneur en poudre de brique.</p> <p>Perte de la résistance à la traction du mortier contenant 10% et 20% de poudre de brique qui à été exposés à la solution de sulfate de magnésium étaient de 3% et 5% respectivement, ce qui est inférieur au mortier de contrôle avec 12%.</p>

2.2.5.1 Effet des déchets de brique sur temps de prise:

Selon S.Mehmet et al.[59], lorsque la proportion de FBR remplaçant le ciment augmente, les temps de prise initiaux et finaux du béton sont plus longs. Ceci peut être expliqué par l'augmentation de la teneur en FBR, car les produits d'hydratation du ciment par unité de volume ont diminué, retardant ainsi le temps de prise du mélange. De plus, les recherches de Zhao et al.[52] ont montré que le temps de prise de la pâte de ciment mélangée diminuait avec la diminution de la taille des particules de FBR, comme la montre la Figure 2-5. Les raisons principales peut être résumée comme suit. D'une part l'ajout de FBR produit un effet de dilution et réduit les produits d'hydratation du ciment, ce qui retarde le temps de prise. D'autre part, l'ajout de FBR peut avoir un effet de nucléation et favoriser la formation de produits d'hydratation dans le ciment. Plus le site particules de FBR est petit, plus le processus d'hydratation du ciment est favorisé [43]. Lorsque l'effet de nucléation de FBR est dominant, le temps de prise du ciment est réduit.

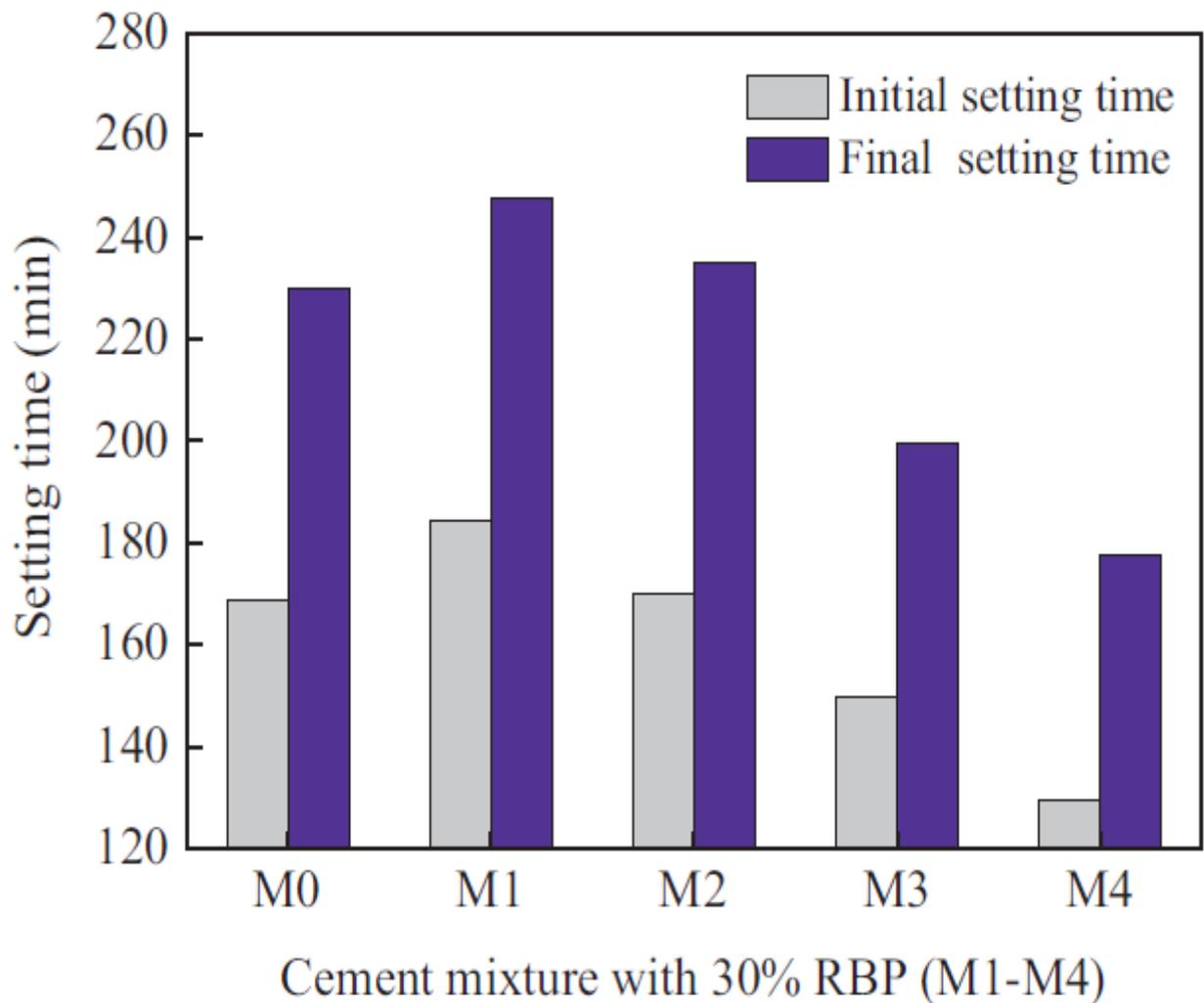


Figure 2-5: Temps de prise des pâtes de ciment avec et sans FBR[52].

2.2.5.2 Effet des déchets de brique sur l'ouvrabilité :

Les matériaux d'origine argileuse possèdent des capacités d'absorption qui dépendent d'un certain nombre de paramètres. Selon le travail conduit par bektaset al[8], celle-ci démontre que la perte de fluidité dans le mortier est proportionnelle au taux de remplacement du sable par les déchets de brique. Ce phénomène est évidemment due à cette capacité d'absorption importante de la brique du fait de sa porosité importante et qui peut atteindre 40%.

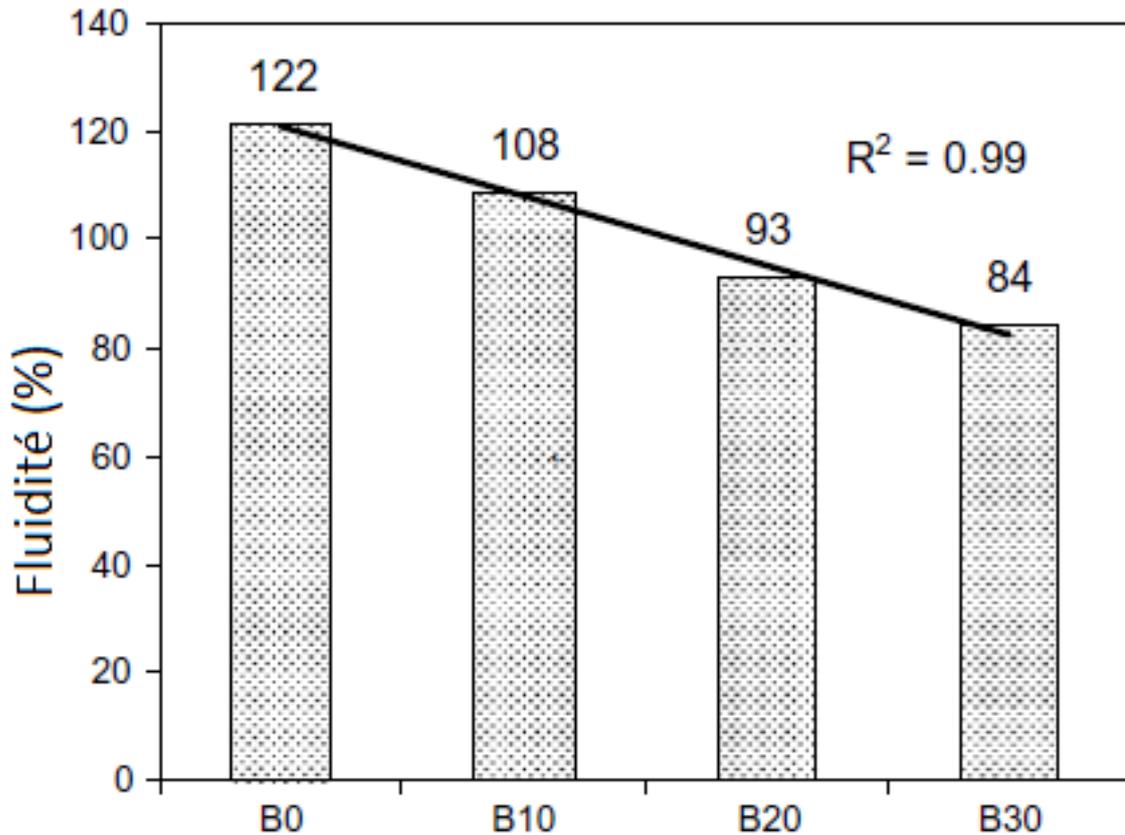


Figure 2-6: Tendence de perte de fluidité pour (0,10,20,30)% de remplacement de FBR [8].

La Figure 2-6 montre que la tendance de perte de fluidité est presque linéaire pour des taux de remplacement de sable en déchets de brique respectivement de 0%, 10%, 20% et 30%.

Les recherches de Debieb et Kenai.[32] ont conduit une étude similaire en remplaçant le sable naturel par des déchets de brique dans le béton à différents taux de substitution. Ils ont également conclu que l'absorption d'eau augmente proportionnellement au taux de substitution du sable en déchets de brique. De même, Q. Huang et al.[60] ont utilisé des déchets de briques (sec ou pré trempé) comme agrégat à différents taux de remplacement pour produire des mortiers. Ils ont conclu que l'augmentation du taux de remplacement du déchet de brique sec provoque une diminution de la consistance des mortiers. En contrepartie, la consistance de mortier contenant le déchet de brique pré-trempé a augmenté avec l'augmentation du ratio de remplacement. Ceci a été attribué à la quantité d'eau supplémentaire provenant du pré trempage du déchet de brique.

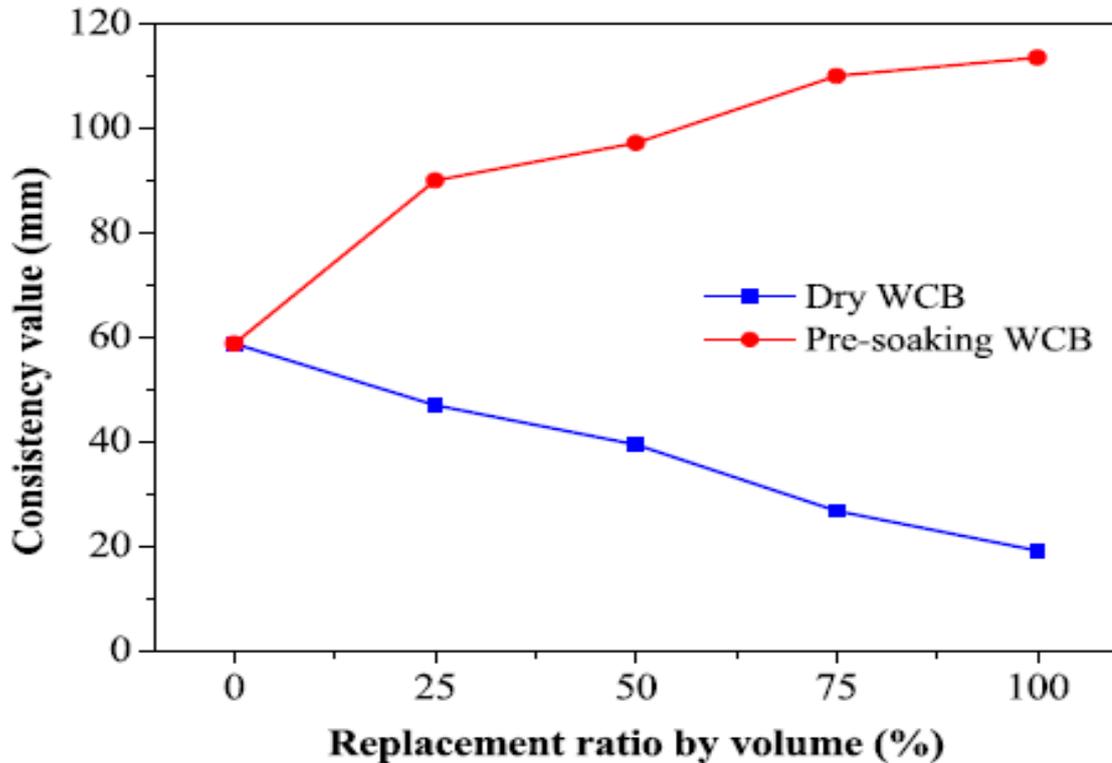


Figure 2-7: Valeur de consistance des mortiers recyclés[60].

2.2.5.3 Effet des déchets de brique sur le retrait :

Le béton fabriqué avec des agrégats recyclés (i.e. poreux) présente le plus souvent des problèmes liés au phénomène de retrait de dessiccation.

Selon l'investigation menée par Khatib[61], Le retrait présente une tendance inversement proportionnelle au taux de substitution en déchets de brique Figure 2-8. Ce comportement a été attribué à la création d'un gel pouzzolanique qui absorbe plus d'eau causant ainsi plus d'expansion. Il faut noter que le taux de substitution considéré dans les tests menés par Khatib commence à partir de 25%.

Bektas et al.[8], ont mené des tests sur du mortier à des taux de substitution respectivement de 10% et 20%. La Figure 2-9 illustre les résultats obtenus des différents tests, celle-ci montre que le mortier à 10% de déchet de brique donne la plus grande valeur de retrait tandis que le mortier à 20% donne la valeur la plus faible, toutefois l'écart entre les deux valeurs reste relativement faible.

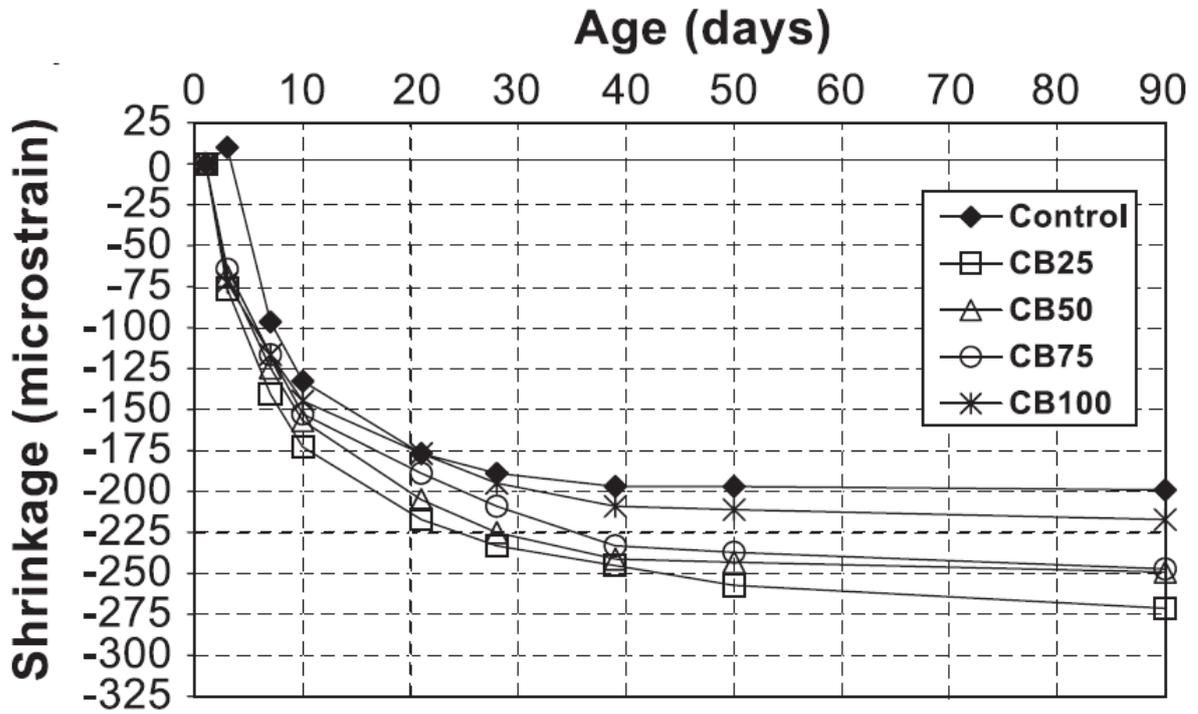


Figure 2-8: Profils de retrait pour le béton contenant les fines de brique[61].

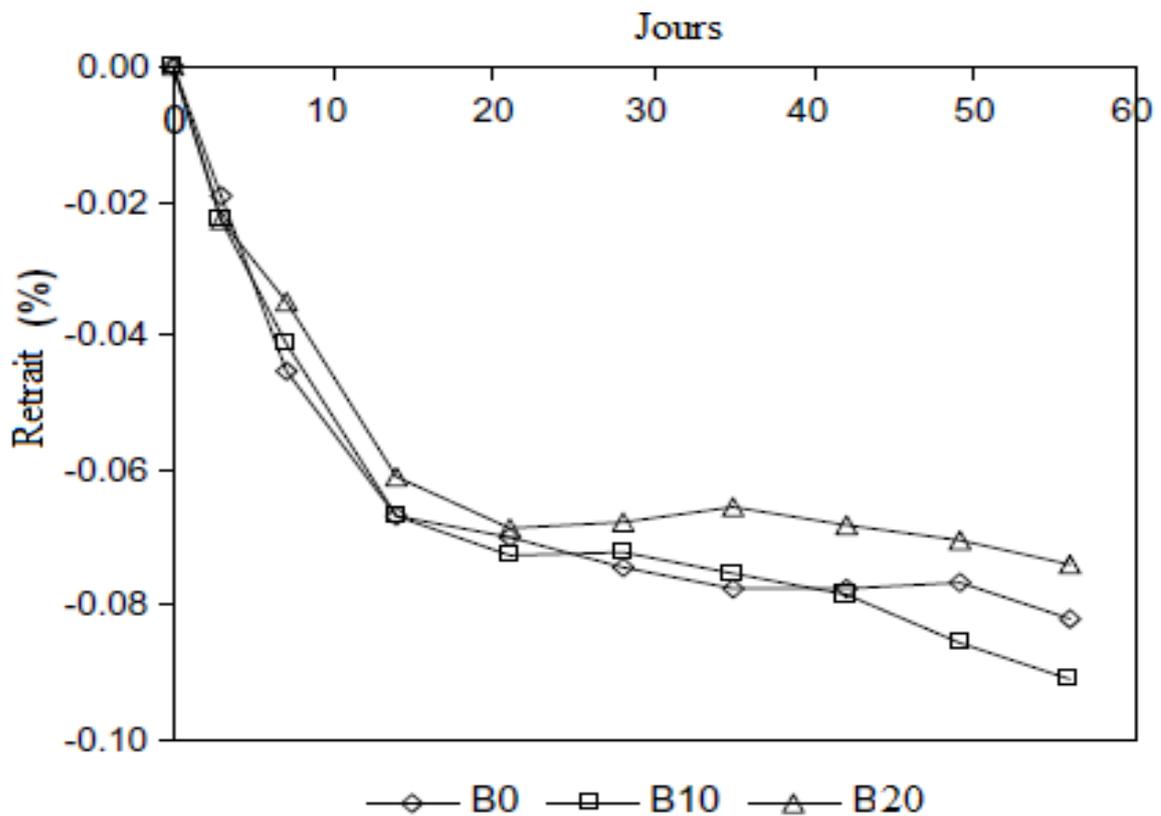


Figure 2-9: Variation de la longueur des barres de mortier due au retrait[8].

2.2.5.4 Effets des déchets de brique sur la résistance à la compression :

Khatib [61] a rapporté que la résistance à la compression enregistre une diminution avec la substitution des agrégats par le déchet de brique, cette perte reste insignifiante, elle est inférieure à 4% de RC pour des taux de substitution respectivement de 25% et 50%. Cette diminution avoisine les 10% pour un taux de substitution à 100%.

Le gain en résistance entre 28 et 90 jours observé sur la Figure 2-10 est dû essentiellement à l'action pouzzolanique causée par le Silicate et l'alumina contenues dans les fines de la brique.

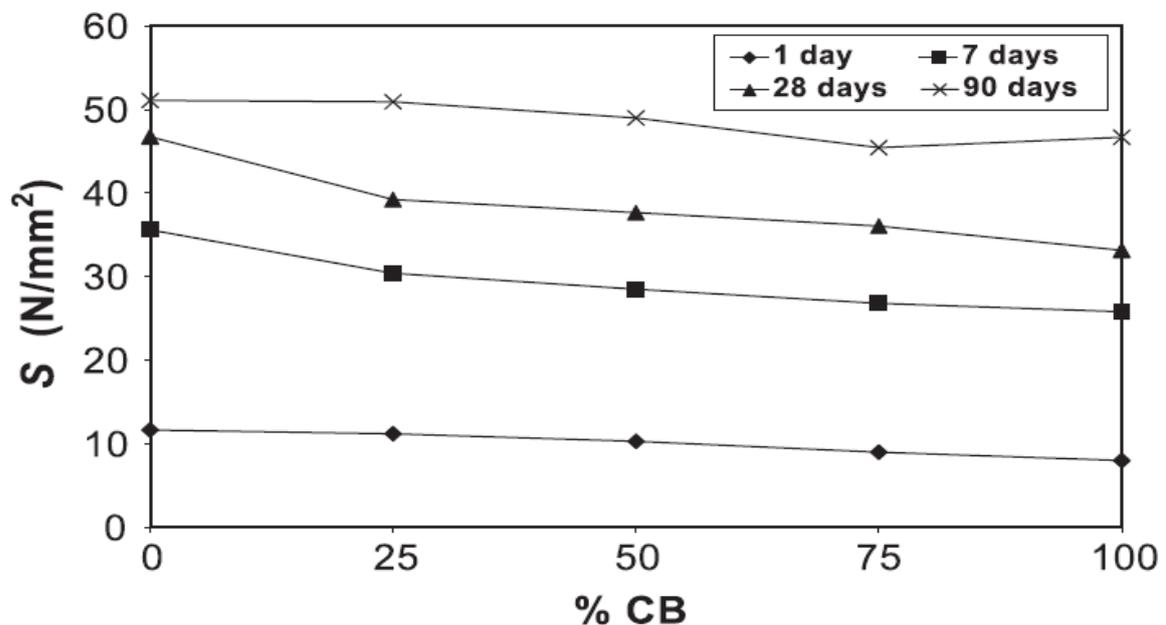


Figure 2-10: Effet de la teneur en fine de brique sur la résistance à la compression (S) [61].

D'autre par Huang et al.[60] ont conduit des essais sur la résistance à la compression en substituant le déchet de brique (sec ou pré trempé) comme agrégat dans les mortiers. Ils ont constaté une augmentation importante de résistance à la compression en augmentant le ratio de déchet de brique sec. Par contre, ils ont constaté une diminution de celle-ci en augmentant le pourcentage de déchet de brique pré trempé.

Bektas et al.[8] ont démontré que la substitution des granulats par les déchets de brique jusqu'à un taux 20% ne génère aucune perte de résistance sur les mortiers. Debieb et Kenai [32] ont enregistré une perte de résistance qui varie de 5% à 10% pour un taux de substitution

en déchets de brique de 25%. Cette perte est de 30% pour une substitution à 100%. Cette diminution de résistance est due essentiellement à l'existence de vieux mortier collé sur les granulats de déchets de brique et du fait de la structure poreuse des granulats de brique qui permet une grande consommation en eau.

2.2.5.5 Effet des déchets de brique sur résistance à la flexion :

Huang et al.[60] ont mesuré la résistance à la flexion des mortiers contenant des déchets de brique à plusieurs taux de remplacement. La Figure 2-11 résume les résultats qu'ils ont obtenus pour les différents taux de remplacement dans différentes conditions de durcissement. Dans les deux conditions de durcissement considérées, la résistance à la flexion des mortiers contenant des déchets de brique secs a augmenté avec l'augmentation du taux de remplacement. Ceci est dû au fait que le rapport eau-ciment effectif a diminué en raison de l'absorption de l'eau du mélange dans le déchet de brique sec, ce qui a réduit la porosité de la matrice durcie. Ce qui est également bénéfique pour les propriétés mécaniques de la matrice. En revanche, la résistance à la flexion des mortiers avec le déchet de brique pré-trempe ont montré une tendance à la baisse linéaire avec l'augmentation du ratio de remplacement, par rapport au mortier M0. Ce qui suggère que un effet néfaste de l'augmentation du rapport E/C effectif (c'est-à-dire l'augmentation de la porosité), qui provoque une démunissions de la résistance à la flexion.

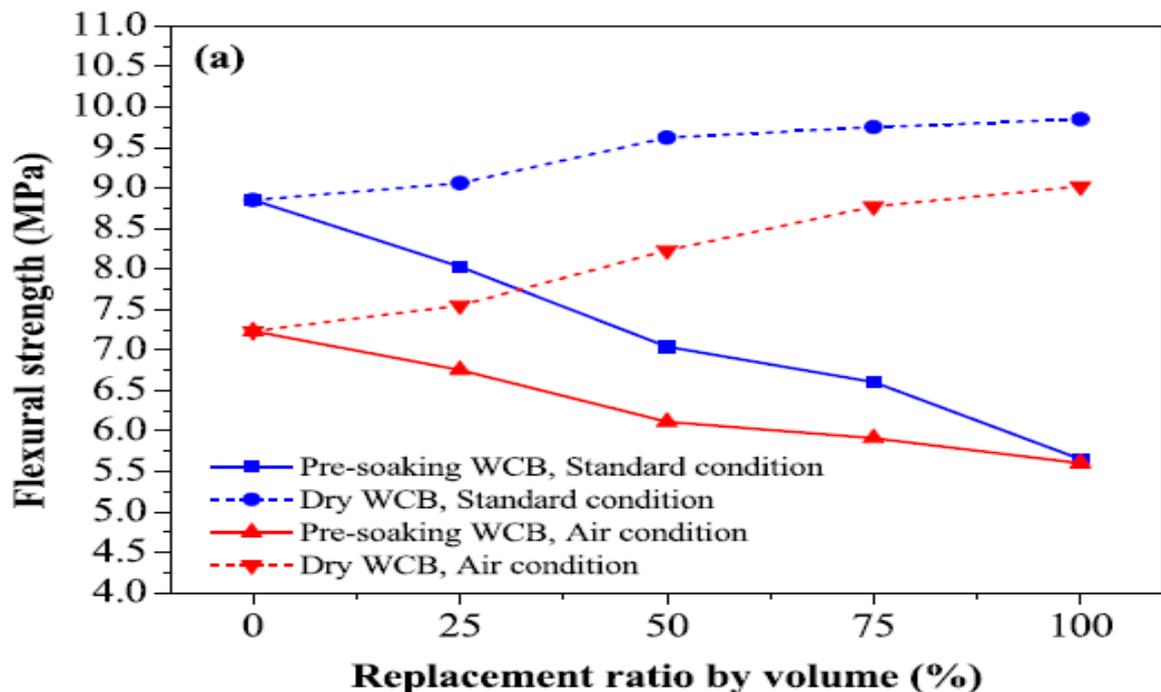


Figure 2-11: Résistance à la flexion en fonction de différent ratio en FBR[60].

Selon Wu et al. [66] la résistance à la flexion diminue avec l'introduction des fines de brique à 7 jours, mais à 28 jours et 90 jours, la résistance à la flexion du béton à d'abord augmenté avec l'augmentation de la teneur en fines de puis renverse la tendance et diminue à partir de 20% de remplacement (Figure 2-12). Usha et al. [62] ont trouvé que la résistance à la flexion à 28 jours du béton avec du ciment partiellement remplacé par 10% et 20% de FBR, a augmenté par rapport à celle du béton conventionnel. Lorsque le taux de remplacement de la FBR a augmenté à 30%, la résistance à la flexion a diminué, mais était encore similaire à celle du béton conventionnel. Par contre, Duan et al.[63] ont démontré qu'avec une augmentation du ratio de remplacement de la FBR, la résistance à la flexion à 28 jours du mortier diminuait légèrement. D'après les recherches de Zheng et al. [64], la résistance à la flexion à 28 jours du béton avec les teneurs en FBR (10%, 20% et 30%) étaient similaires à celles du béton témoin. Ma et al.[65] ont trouvé que l'addition de FBR a réduit la résistance à la flexion à 28 jours du mortier, et qu'elle diminuait linéairement avec l'augmentation du ratio de remplacement de la FBR. En revanche, Les recherches actuelles indiquent généralement qu'une quantité appropriée de fine de brique recyclé n'a pas d'effet significatif ou même positif sur la résistance à la flexion et à la traction des composites à base de ciment, tandis qu'une quantité excessive de FBR réduit la résistance à la flexion et à la traction.

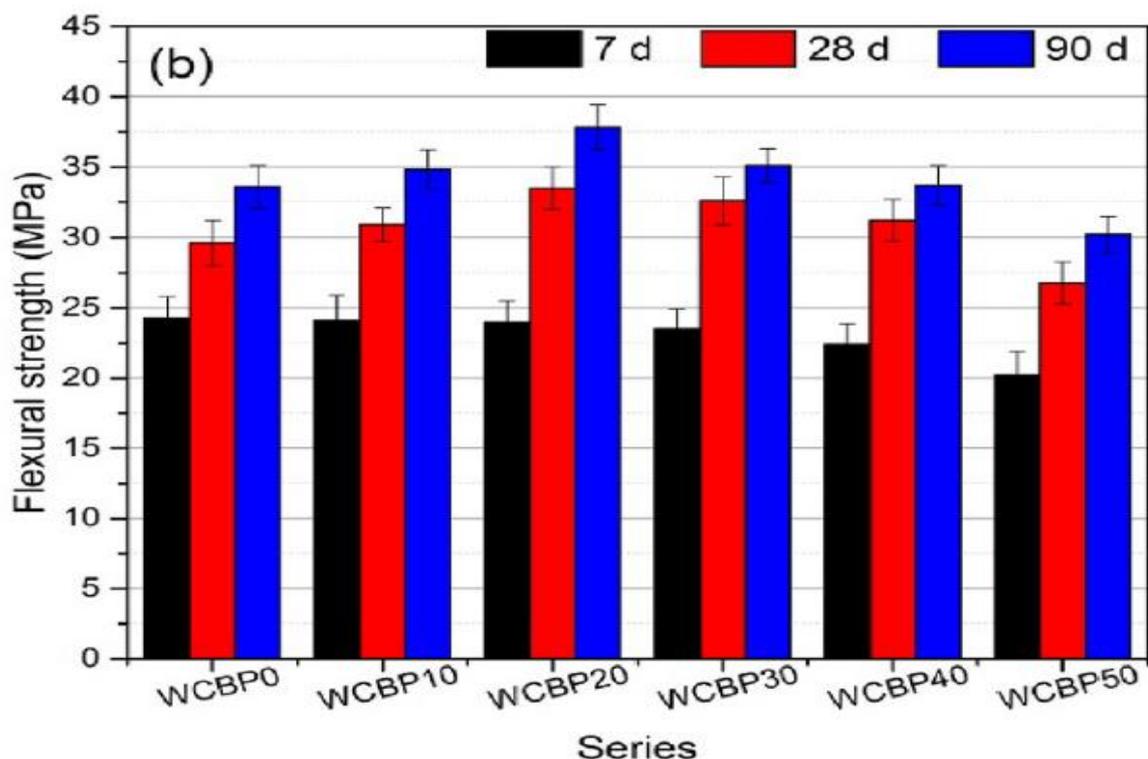


Figure 2-12: La résistance à la flexion menée par J.-D. Wu et al. à 7 j, 28 j et 90 j [66].

2.2.5.6 Effet des déchets de brique sur la porosité :

Gonçalves et al. [9] ont étudié l'effet de l'argile calcinée (déchets de brique et méta kaolin) sur la porosité des mortiers à différents taux de substitution de ciment qui sont : 0%, 10%, 20%, 30% et 40%. Ils ont conclu que les déchets de briques provoquent une augmentation de la porosité totale par rapport aux mortiers témoins. Le pourcentage de porosité le plus bas est enregistré par le taux de substitution de 10% et la différence par rapport aux mortiers témoins n'est pas importante.

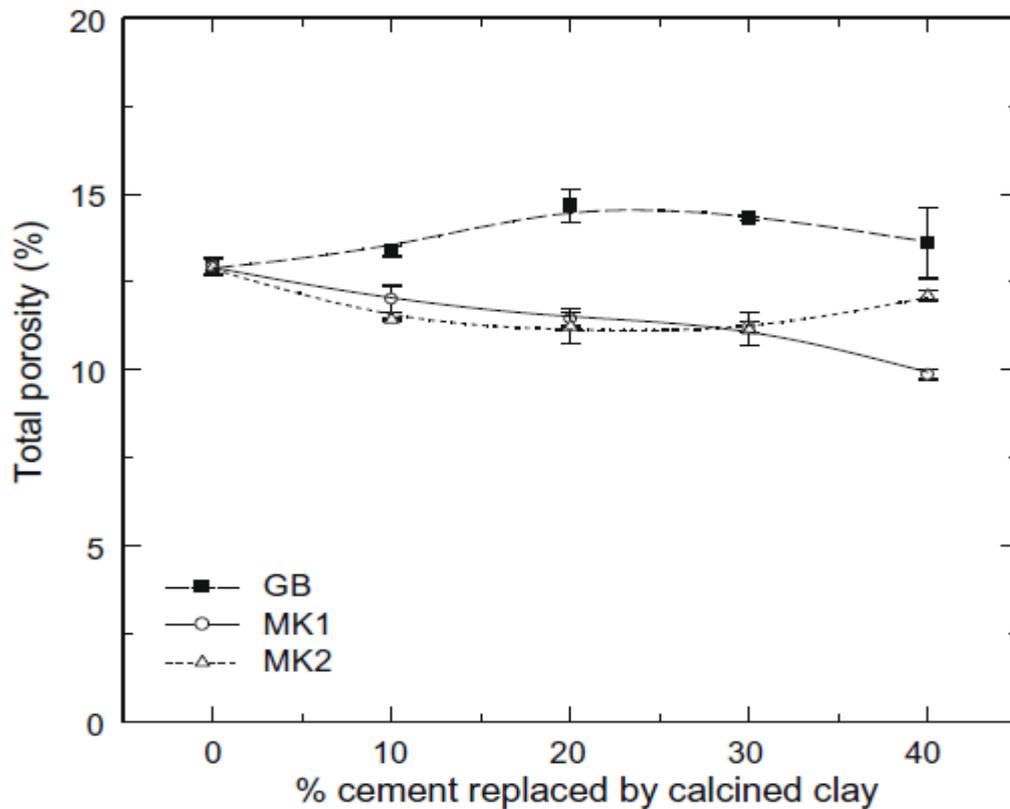


Figure 2-13: Influence de la proportion de ciment remplacée par chacune des argiles calcinées sur la porosité totale[9].

La Figure 2-14 montre les différentes proportions des micropores et macro-pores selon différents taux de substitution. Il a été constaté que les déchets de brique provoquent une réduction des macro-pores et une augmentation des micropores, ce qui explique la similitude du DB10 avec le mortier témoin dans la porosité totale engendrée. L'augmentation de la porosité pour les taux de substitution de 20% et 30% de ciment par DB a été associée à une réduction du volume total des hydrates formés en comparaison avec les hydrates des mortiers témoins. Cependant, les hydrates présents dans les mélanges DB20 et la présence des particules de DB non hydraté ont conduit à une réduction des macro-pores[9].

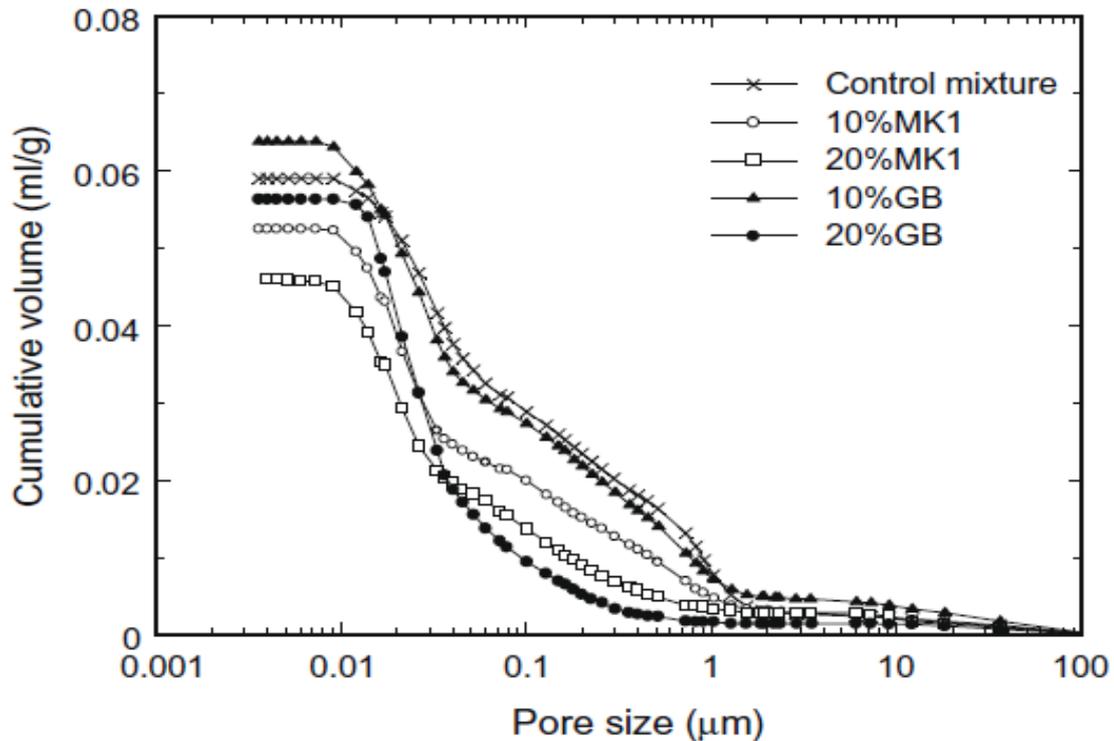


Figure 2-14: Distributions de la taille des pores des mélanges de mortier sélectionnés [9].

2.2.5.7 L'effet des déchets de briques sur l'absorption capillaire :

En matière d'absorption, Ma et al. [65] ont constaté que l'ajout des fines de briques recyclées à un taux de remplacement approprié peut réduire l'absorption d'eau du mortier, et que la réduction de l'absorption d'eau est significative avec l'augmentation du ratio de remplacement. Cependant, si les déchets de brique ajoutés ne sont pas suffisamment, l'absorption d'eau du mortier augmente. Les résultats obtenus par Schackow et al. [67] montrent que l'absorption du mortier contenant des fines de brique (taille moyenne des particules $< 5 \mu\text{m}$) et durci pendant 28 jours, est inférieure à celle du mortier témoin et varie presque linéairement avec la teneur en fine de brique.

D'autres auteurs ont également mesuré le coefficient d'absorption d'eau des mortiers avec et sans fine de brique durcis pendant 90 jours et ont observé que le coefficient d'absorption d'eau après 10 min ne change pas de manière significative, après 90 min, l'absorption diminue de manière significative avec l'ajout des déchets de brique. Cela a été attribué à la synergie/superposition de l'effet de charge des fines de brique et de l'effet pouzzolanique, qui empêchent progressivement l'absorption de l'eau. Il est intéressant de noter que lorsque la teneur en FBR est de 40%, le coefficient d'absorption d'eau du mortier a légèrement augmenté.

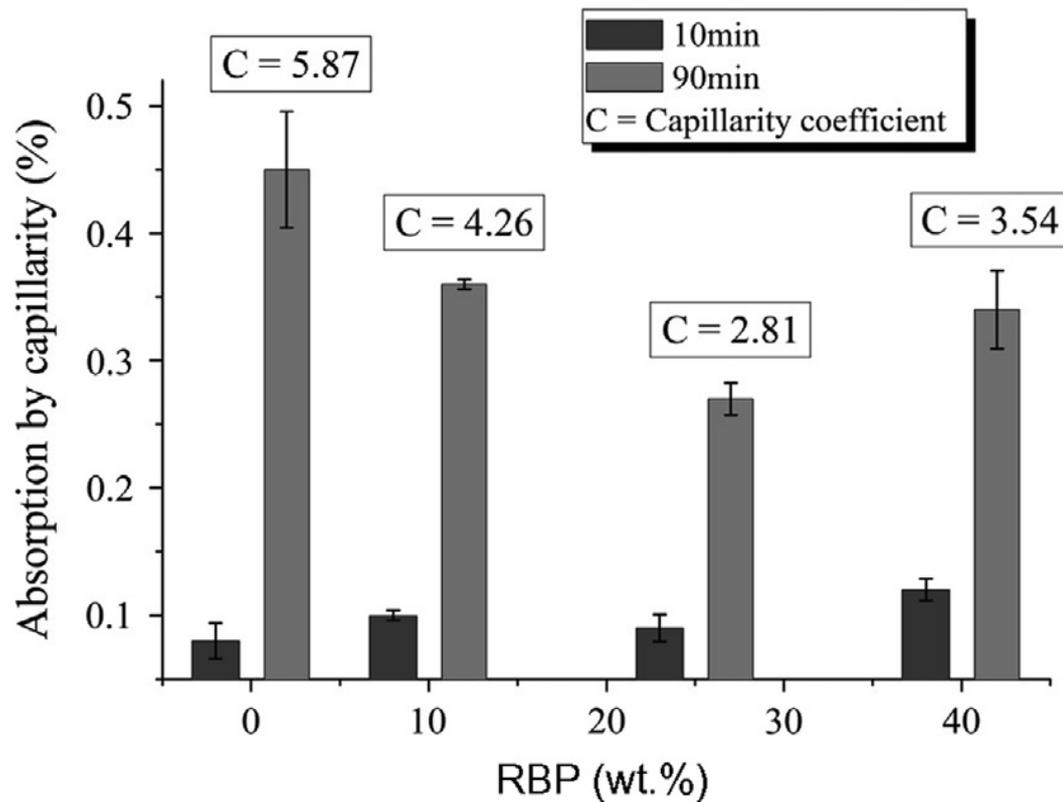


Figure 2-15: Relation entre la teneur en FBR et le coefficient d'absorption d'eau des mortiers durcis pendant 90 jours[67].

Sur la base des résultats d'Ortega et al. [68], le coefficient d'absorption capillaire du béton contenant 20 % de brique recyclée (diamètre moyen de $8.5\mu\text{m}$) est inférieur de 19,2% par rapport au béton conventionnel.

Les tests menés par Qian Huang et al.[60] ont montré que l'absorption d'eau des mortiers recyclés augmente d'une manière très apparente pendant la première heure puis cette absorption diminue d'une manière progressive pendant une longue durée (Figure 2-16). Selon Qian Huang et al.[60] cela pourrait être lié à la diminution de la force de succion capillaire avec l'augmentation de l'humidité intérieure des mortiers. Ce même constat a été consolidé par les résultats obtenus par Zhi Ge et al.[69].

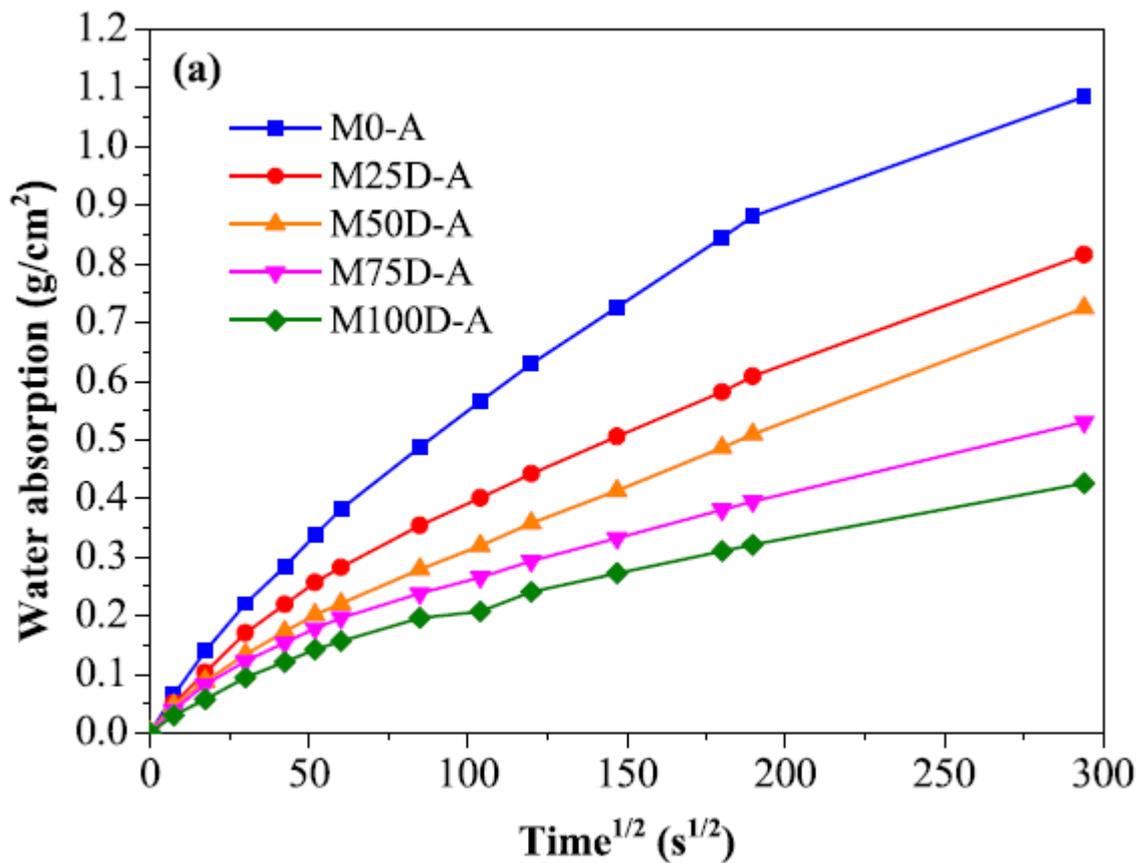


Figure 2-16: Absorption d'eau des mortiers recyclés avec (a) DB sec et (b) pré-trempe en fonction de la racine carrée du temps dans les conditions de cure à l'air, ("A") après le numéro de l'éprouvette indique les conditions de durcissement à l'air [60].

2.2.5.8 Effet des déchets de brique sur le gel-dégel :

Voici un bref aperçu des résistances au gel/dégel des composites cimentaires avec FBR :

Le travail conduit par Bektas et al.[8], ont conclu que les éprouvettes de mortier ont subi une cure de 28 jours dans l'eau avant d'être exposées aux cycles de gel-dégel. La Figure 2-17 démontre clairement que le taux de substitution de 20% en brique réalise la meilleure performance, ce qui fait que plus la quantité de brique augmente, plus la dilatation causée par les cycles de gel-dégel diminue. Après 180 cycles, le taux de substitution de 20% en déchets de brique provoque une expansion moyenne de 0.05% en comparaison à 0.53% pour les mortiers de référence. L'idée sous-tendant l'inclusion de bulles d'air, est de soulager le béton de la pression causée par la formation de glace et d'éviter la fissuration due à la congélation-décongélation. En d'autres termes, la création de vide à travers les bulles d'air dans la structure du béton évite l'apparition de fissure lors d'un déroulement d'un mécanisme expansif. La nature extrêmement poreuse de la brique peut fournir une action similaire aux entraîneurs d'air et de réduire ainsi l'expansion due au gel-dégel [8].

Ce concept est appliqué avec succès par Litvan et Serada.[70] dans leur étude, la résistance du béton au gel-dégel a été améliorée par l'incorporation de particules de brique poreuses, avec un diamètre de pores de $0.5 \pm 0.08\text{mm}$. Les échantillons contenant 16% de particules de brique ont enduré 1260 cycles gel-dégel sans endommagement. Ge et al.[71] ont testé la résistance au gel-dégel du béton avec et sans FBR. Ils ont constaté que la perte de la résistance à la flexion du béton augmente progressivement avec l'augmentation du niveau de remplacement de la FRB après 300 cycles de gel-dégel, mais la perte de résistance à la flexion la plus élevée n'était que de 15,2%. Et le taux de perte de masse des spécimens était inférieur à 2%. On peut dire que le béton contenant de la FBR avait une haute résistance au gel-dégel. Binici et al.[72] ont déclaré que l'ajout de FBR améliore la résistance au sulfate du mortier et recommandent une teneur optimale en FBR d'environ 15%. Schachow et al.[67] ont constaté que la valeur d'expansion absolue et le taux de fissuration du mortier avec FBR étaient plus élevés que ceux d'un mortier de contrôle sans FBR. C'est-à-dire que la microstructure poreuse du mortier sans FBR semble être capable d'accommoder l'expansion locale causée par les produits générés par l'attaque au sulfate, réduisant ainsi la destruction de la matrice du mortier.

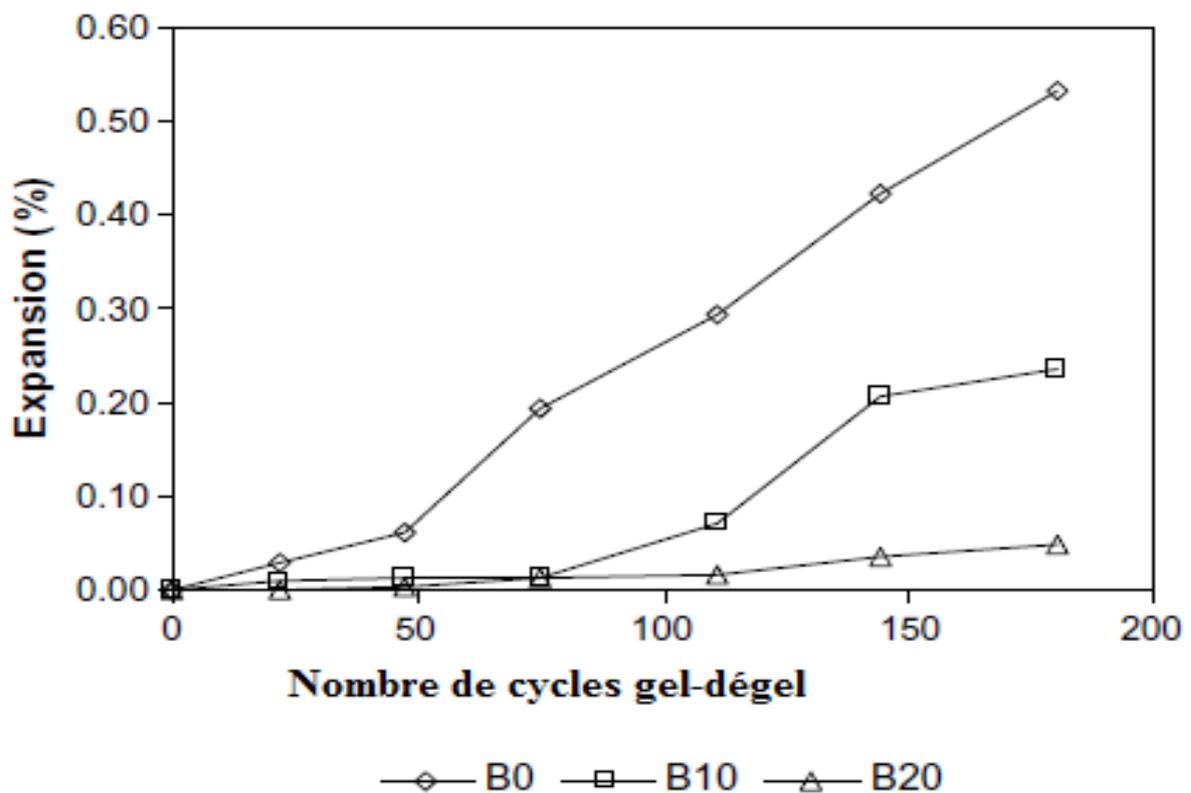


Figure 2-17: Expansion du mortier soumis aux cycles gel-dégel[8].

2.2.5.9 Effet des déchets de brique sur la perméabilité aux ions chlorures :

Le béton est inévitablement érodé par les chlorures présents dans l'environnement en service, et l'intrusion de chlorures conduit à la corrosion des barres d'acier dans le béton armé, réduisant ainsi sa durabilité. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier la perméabilité aux chlorures des composites cimentaires contenant des FBR [73]. Gonçalves et al.[9] ont trouvé que le mortier contenant 10% et 20% de FBR présentait une moindre perméabilité aux ions chlorure dans la matrice. Ils ont suggéré que l'amélioration de l'imperméabilité était directement liée à l'affinement de la structure poreuse du mortier. D'après les résultats d'Ortega et al.[68], les coefficients de migration des chlorures du mortier contenant 10% et 20 % de FBR étaient inférieurs de 31,7 % et 48,15 % respectivement à ceux du mortier témoin. Les auteurs ont estimé que cette performance positive peut être due à l'activité pouzzolanique de la FBR et à son effet de charge, qui forme un réseau de pores raffiné. Cependant, tout le monde n'est pas d'accord avec les conclusions ci-dessus.

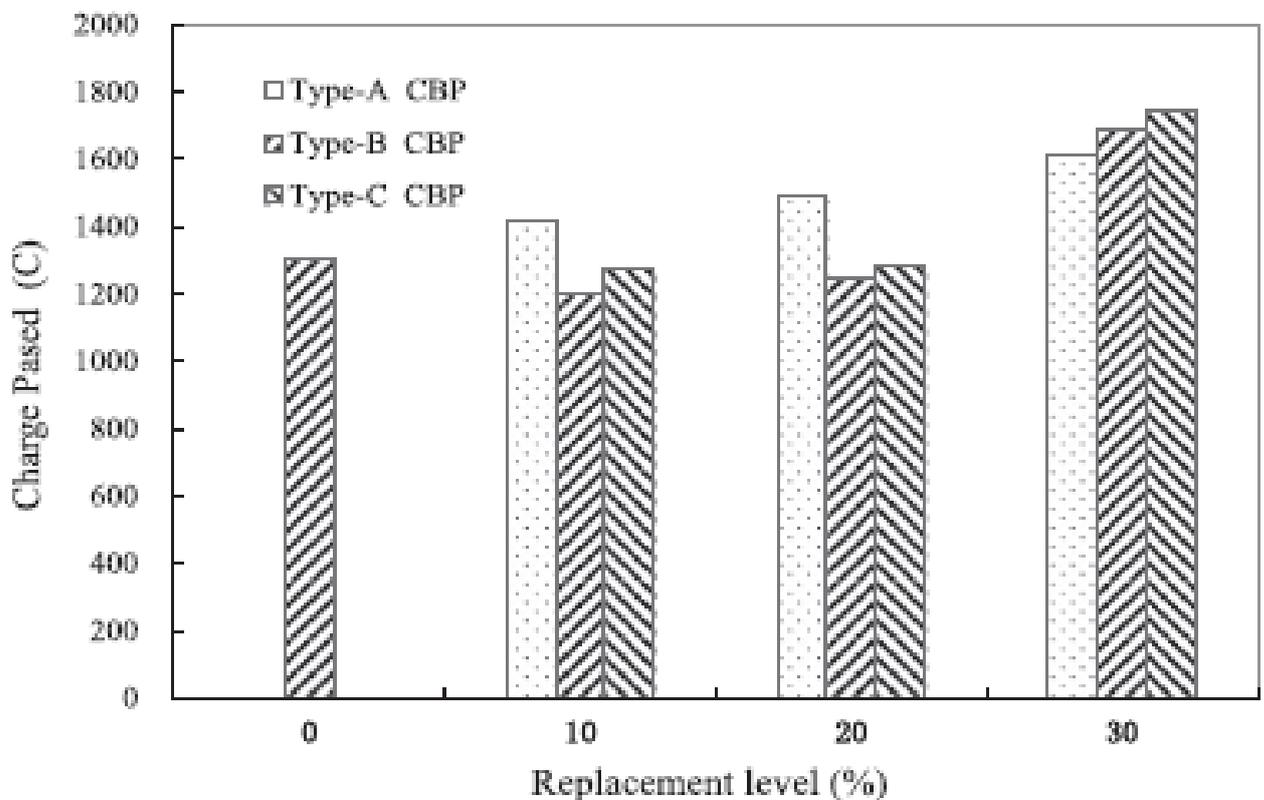


Figure 2-18:Effet du FBR sur la pénétrabilité des ions chlorure[71].

2.3 Fibre végétale :

2.3.1 Introduction :

L'inquiétude croissante concernant les problèmes environnementaux ainsi que les ressources en combustibles fossiles ont accentué l'intérêt pour le développement de matériaux durables. En effet, la tendance vers les matériaux bio-sources est non seulement intéressante en termes d'impact sur l'environnement, mais constitue également une solution alternative aux matériaux d'origine fossile. Par conséquent, de nombreux chercheurs étudient les possibilités de renforcer certains polymères avec des fibres végétales telles que le sisal, le lin, le chanvre, le jute, l'alfa et diverses herbes [74], [75].

Au cours de ces dernières années, un nombre croissant de travaux de recherche sur l'utilisation de fibres végétales dans une matrice inorganique [76]–[78]. En particulier, les fibres sont généralement utilisées pour éviter les phénomènes de fissuration par retrait, augmenter la résistance à la rupture des matériaux fragiles et développer l'écrouissage [79], [80]. Cependant, la zone de transition inter-faciale entre les fibres et les matériaux de construction est d'une importance capitale. Cette dernière peut être améliorée en adoptant plusieurs stratégies. Comme la modification de rugosité de la surface des fibres ou amélioration de l'affinité chimique entre les fibres et la matrice [81], [82]. Dans l'optique d'une approche plus éco-durable du secteur du bâtiment et de la construction, plusieurs articles ont étudié les effets de l'ajout de fibres végétales sur les propriétés mécaniques et la durabilité des composites obtenus [83]–[85].

2.3.2 Définition :

Les fibres végétales peuvent être considérées comme composites naturels constituées essentiellement de fibrilles de cellulose, maintenues ensemble par une matrice composée principalement de lignine et d'hémicellulose. Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice suivant un angle nommé angle micro-fibrillaire. Les conditions climatiques, l'âge et le processus de digestion influent non seulement sur la structure des fibres, mais aussi la composition chimique [10]. Les fibrilles cellulosiques sont disposées tout au long de la longueur des fibres, et présentent une structure multicouche complexe, avec une paroi primaire très mince qui entoure une couche secondaire plus épaisse. Cette structure est très similaire à celle de fibres de bois [86]. La paroi cellulaire primaire (externe) est généralement très mince ($<1 \mu\text{m}$) et très élastique, elle se laisse détendre et déformer. Elle peut ainsi suivre l'augmentation de taille de la cellule en croissance. Les micro-fibrilles contiennent une

proportion de cellulose de 8 à 14%, et forment un maillage lâche, un arrangement dit en structure dispersée [86].

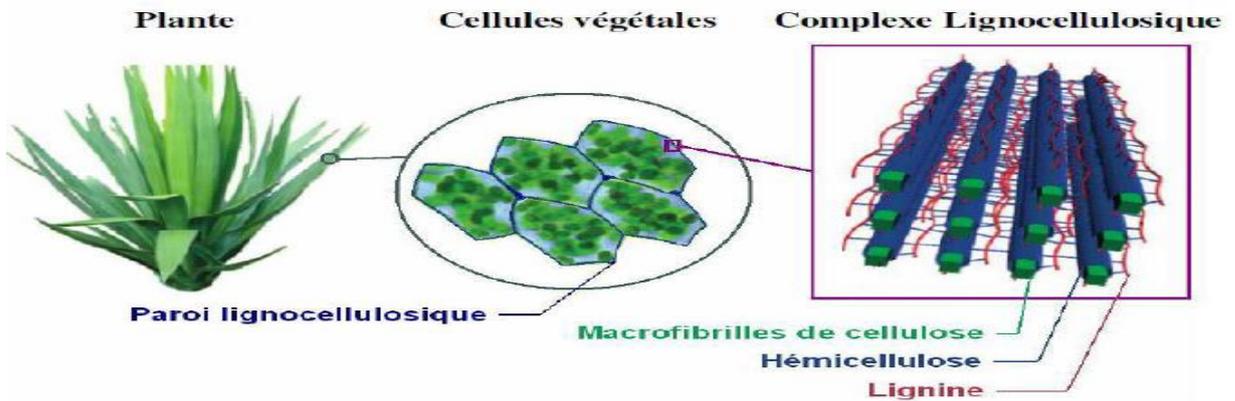


Figure 2-19: Structure et composition d'une paroi végétale [87].

2.3.2.1 Origine des fibres végétales :

Les fibres végétales sont subdivisées en fonction de leurs origines, venant de plantes (cellulosique)[88].

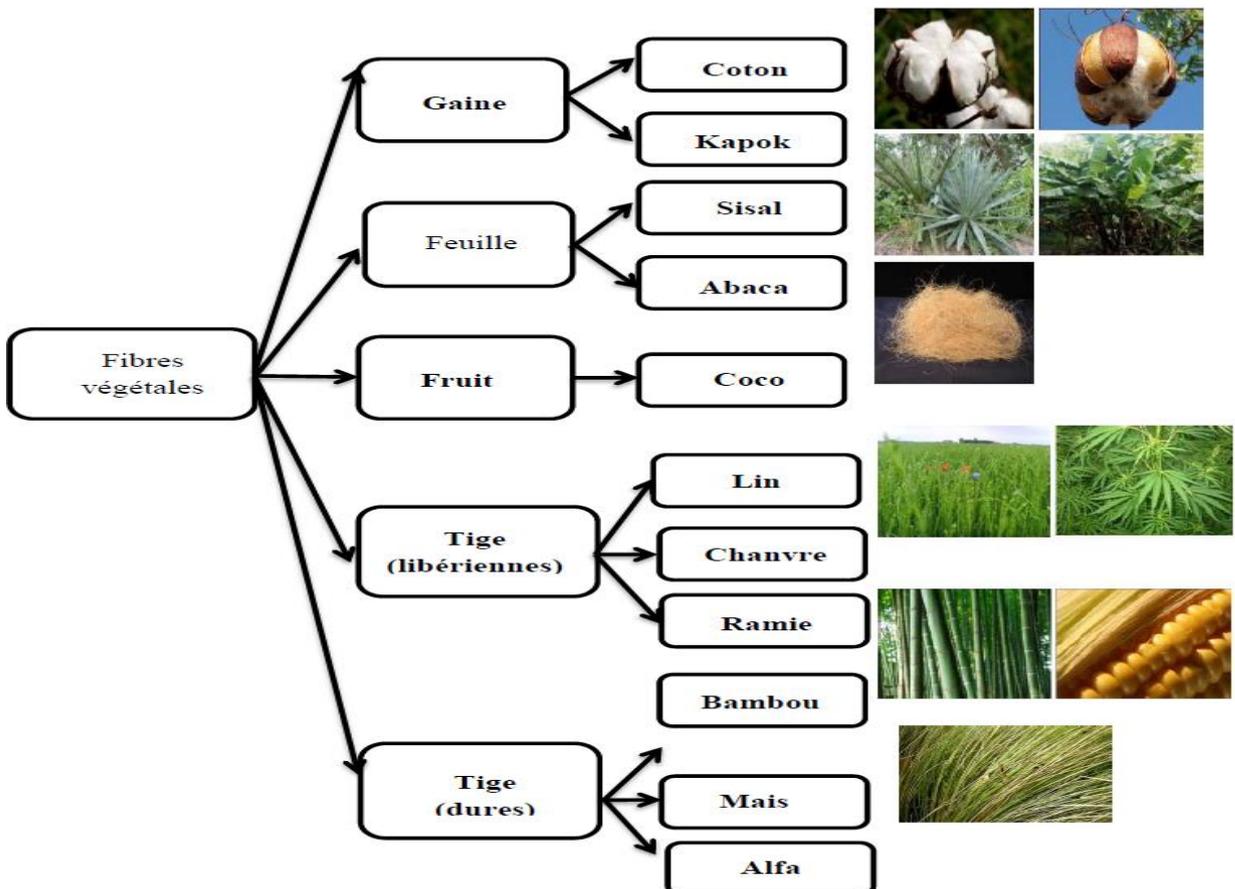


Figure 2-20: Classification des fibres végétales selon l'origine[89].

2.3.2.2 Quelques fibres végétales cellulosiques :

La fibre de palmier dattier (*phoenixda ctylifera*) : C'est l'une des plantes les plus cultivées au monde. On la trouve couramment dans la bande aride afro-asiatique. Par exemple, l'Algérie compte plus de 10 millions de palmiers [90], et chaque année, d'énormes quantités de déchets de fibres de palmier sont rejetées n'importe où, ce qui crée des déchets plus inquiétants.

La fibre de Dis (*Ampélodesmos Mauritanicus*) : C'est une espèce d'herbe sauvage du bassin méditerranéen que l'on trouve au Maghreb, en Grèce, en Espagne, et sud de la France. Sa nature fibreuse est susceptible d'offrir aux matériaux cimentaires les qualités apportées par les fibres classiques.

Fibre Alfa (*Stipa Tenacissima L*) : C'est une plante herbacée poussant généralement dans la zone aride de la Méditerranée occidentale. L'Algérie produit 4 millions de tonnes par an de cette plante [91].

Fibre de chanvre (*cannabis*) : C'est une plante annuelle dont la hauteur varie de 1 à 3 m. Elle ressemble au lin, et est utilisée comme soufflé. Le chanvre pousse beaucoup plus en Chine, au Canada et en Europe. Il a une grande résistance à la traction (entre 600 et 1100MPa). Cela favorise son utilisation dans plusieurs domaines comme l'industrie du papier et comme matériau de renforcement pour les mélanges cimentaires.

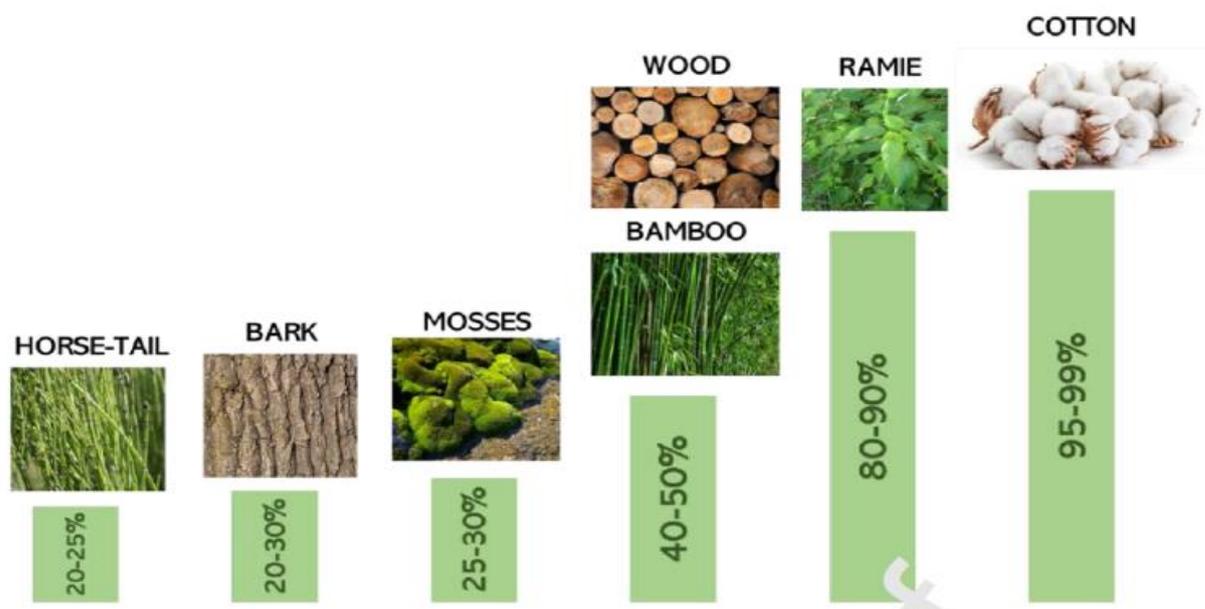


Figure 2-21: Teneur en cellulose dans différentes sources végétales[92].

2.3.2.3 Caractéristique chimiques physiques et mécaniques des fibres végétales :

Les fibres végétales sont des composites naturels à structure cellulaire. Différentes proportions de cellulose, d'hémicellulose et de lignine constituent les différentes couches. La cellulose est un polymère contenant unités de glucose. L'hémicellulose est un polymère composé de divers polysaccharides. Quant à la lignine, c'est un mélange amorphe et hétérogène de polymères aromatiques et de monomères de phénylpropane [93]. Les différentes fibres végétales ont des compositions différentes (Tableau2-3). Leur comportement à l'intérieur d'une matrice de ciment puisse différer entre elles. Les fibres végétales ont une résistance élevée à la traction et faible module d'élasticité. Malgré cela, leur performance en matière de traction peut se comparer avantageusement aux fibres synthétiques.

Tableau 2-3: Compositions chimiques de différentes fibres végétales[94].

Type de fibre	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)	Pectine (%)	Cires (%)	Angle micro-fibrillaire(°)
Abaca	56–63	20–25	7–13	1	3	–
Alfa	45,4	38,5	14,9	–	2	–
Bagasse	32–55,2	16,8	19–25,3	–	–	–
Bambou	26–65	30	5–31	–	–	–
Banane	63–67,6	10–19	5	–	–	–
Coir	32–43,8	0.15–20	40–45	3–4	–	30–49
Coton	82,7–90	5,7	< 2	0–1	0,6	–
Ananas	70,7–73,6	9,9	7,5–11,1	–	–	–
Lin	62–72	18,6–20,6	2–5	2,3	1,5–1,7	5–10
Chanvre	68–74,4	15–22,4	3,7–10	0,9	0,8	2–6,2
Agave	60–77,6	4–28	8–13,1	–	0,5	–
Jute	59–71,5	13,6–20,4	11,8–13	0,2–0,4	0,5	8
Kénaif	31–72	20,3–21,5	8–19	3–5	–	–
Ortie	86	10	–	–	4	–
Palmier à huile	60–65	–	11–29	–	–	42–46
Sisal	60–78	10–14,2	8,0–14	10	2	10–22

Tableau 2-4: Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles [94].

Type de fibre	Densité (g/cm ³)	Longueur (mm)	Rt(MPa)	M.d'élasticité (GPa)	Allongement(%)
Abaca	1,5	–	400–980	6,2–20	1,0–10
Alfa	0,89	–	35	22	5,8
Bagasse	1,25	10–300	222–290	17–27,1	1,1
Bambou	0,6–1,1	1,5–4	140–800	11–32	2,5– 3,7
Banane	1,35	300–900	500	12	1,5–9
Coir	1,15–1,46	20–150	95–230	2,8– 6	15–51,4
Coton	1,5–1,6	10 –60	287–800	5,5–12,6	3–10
Ananas	1,4	35	87–1150	11,8– 96	1,3–4,9
Lin	1,4–1,5	5–900	343–2000	27,6–103	1,2–3,3
Chanvre	1,4–1,5	5–55	270–900	23,5–90	1–3,5
Agave	1,2	–	430–570	10,1–16,3	3,7–5,9
Isora	1,2–1,3	–	500–600	–	5–6
Jute	1,3–1,49	1,5–120	320– 800	8–78	1–1,8
Kénaif	1,4	–	223–930	14,5–53	1,5–2,7
Ortie	–	–	650	38	1,7
Palmier à huile	0,7–1,55	–	80–248	0,5–3,2	17–25
Ramie	1,0–1,55	900–1200	400–1000	24,5–128	1,2–4,0
Sisal	1,33–1,5	900	363–700	9,0–38	2,0–7,0

2.3.2.4 Evaluation de la disponibilité des fibres végétales :

2.3.2.4.1 Disponibilité des fibres végétales à l'échelle mondiale :

Ces dernières années, une attention croissante a été accordée à l'utilisation des ressources renouvelables de faible coût, particulièrement d'origine végétale dans les applications composites au sein des pays industrialisés. L'Inde, la Chine et le Brésil sont les plus grands pays producteurs de fibres dans le monde.

2.3.2.4.2 Disponibilité des fibres végétales en Algérie :

L'Algérie est un pays Maghrébin ayant une flore très riche dans les régions montagneuses, les hauts Plateaux et sahariennes : liège, alfa, Diss, Doum, palmier dattier, Pin, Cotton, Lin, etc. L'Algérie avec une production annuelle de liège d'environ 6000 tonnes, elle est le sixième producteur de liège au monde. De plus, l'alfa occupe environ 4 millions d'hectares en Algérie [86]. Il est intéressant aussi de noter que l'Algérie possède 10 millions de palmiers-dattiers [95]. D'autre part, l'Algérie a aussi des dizaines de milliers d'hectares très riches d'autres types de fibres tels que le Diss et le Doum. La production de crin végétal à base de fibres de Doum avait débuté au début des années 1900 en Algérie par la colonisation française. L'Algérie a une grande richesse en fibres végétales, mais malheureusement elle reste presque inexploitée.

2.3.2.5 Fibre d'alfa :

Dans les écosystèmes méditerranéens secs, l'herbe la plus dominante est la plante d'alfa appelée (*Stipa tenacissima* L). Elle est également connue sous le nom vernaculaire d'alfa ou d'Halfa dans la plupart des pays arabes. Dans ce texte le terme alfa sera utilisé.

L'alfa est une herbe vivace qui pousse sur les sols semi-arides d'Afrique du Nord et dans le sud de l'Espagne. Elle est originaire du continent asiatique et à probablement été introduite dans la zone méditerranéenne pendant la crise messénienne, il y a 6,5 à 5,0 millions d'années [96].

Actuellement, la plante alfa est répandue dans une large zone géographique essentiellement en Algérie et au Maroc, totalisant environ 4 et 2,2 millions d'hectares de steppes naturelles, respectivement [97].

Dans les pays méditerranéens, l'alfa est considéré comme une grande barrière contre la désertification et l'envahissement du désert [98], [99]. La culture de cette plante est écologique puisqu'elle n'a pas besoin d'insecticides et de pesticides, elle nécessite peu d'eau pour sa croissance. En outre, les sols sous les touffes d'alfa ont une matière organique, une teneur en azote, un taux de phosphore et d'efflux de CO₂ que ceux des zones ouvertes [100], [101]. Malheureusement, en raison du changement climatique et de l'exploitation non durable de l'alfa, les sols sont de plus en plus pauvres.



Figure 2-22: Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut[99].

2.3.2.5.1 La morphologie de fibre d'alfa :

Pour assurer une croissance optimale, la plante d'alfa a besoin d'un sol à forte teneur en calcaire (30 à 40%) et à faible teneur en gypse (~2%). En revanche, cette plante ne s'adapte pas bien aux sols argileux et limoneux allant de 12 à 20% [102], [103]. De plus, la plante alfa présente plusieurs adaptations morpho-physiologiques qui lui permettent de résister à des environnements extrêmes, notamment le dur-écosystème méditerranéen. Les feuilles, racines et le système de production de la plante alfa se sont adaptés pour survivre dans cet écosystème. Ainsi, l'alfa existe dans les régions à de faibles précipitations irrégulières (isohyètes de 200 et 400 mm de pluie par an), à une température élevée d'environ 40 °C et une forte insolation [102].

L'herbe alfa forme des touffes et se propage de manière végétative. La densité des touffes est d'environ 3000 à 5000 par hectare dans une population normale. Dans un peuplement en gradient, le nombre tombe de 1000 à 2000 touffes par hectare[104]. Chaque touffe est formée de feuilles vertes, qui durent jusqu'à 1,5 ans et sont produites en continu, et avec les feuilles mortes, elles donnent à la touffe sa forme circulaire [102]. Cette partie aérienne varie en longueur de 25 à 120 cm selon les conditions climatiques. Généralement, les longueurs moyennes se situent entre 40 et 60 cm [105].

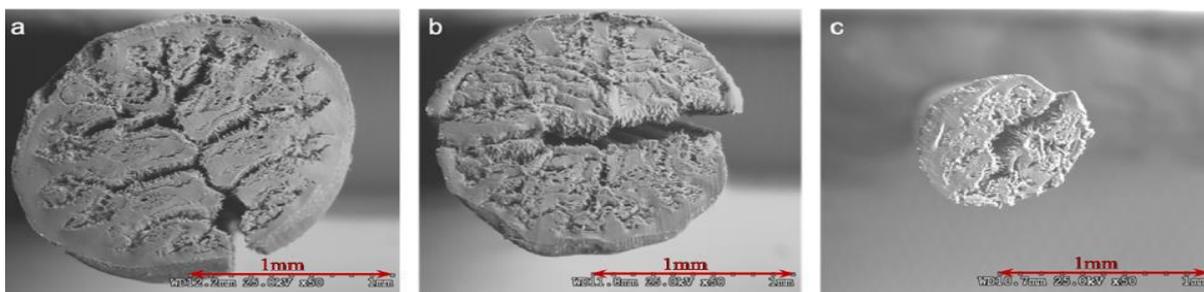


Figure 2-23: Coupes transversales de la feuille d'alfa : (a) niveau le plus bas ; (b) niveau médian ; (c) niveau supérieur[106].

2.3.2.6 Avantages et inconvénients des fibres végétales :

Les composites renforcés de fibres végétales présentent des inconvénients tels que comme une mauvaise mouillabilité et une faible performance de la matrice fibre/polymère, et absorbent davantage d'eau et d'humidité. La présence de la cellulose qui est hydrophile par nature, affecte la liaison inter-faciale entre la matrice polymère et les fibres car la matrice est hydrophobe. Le traitement chimique des fibres naturelles est l'un des moyens d'optimiser l'interaction entre les fibres et la matrice. Il réduit les groupes fonctionnels OH présents sur la surface de la fibre et augmente la surface de la matrice, ce qui améliore l'interaction inter-faciale entre les fibres et la matrice[107]–[109].

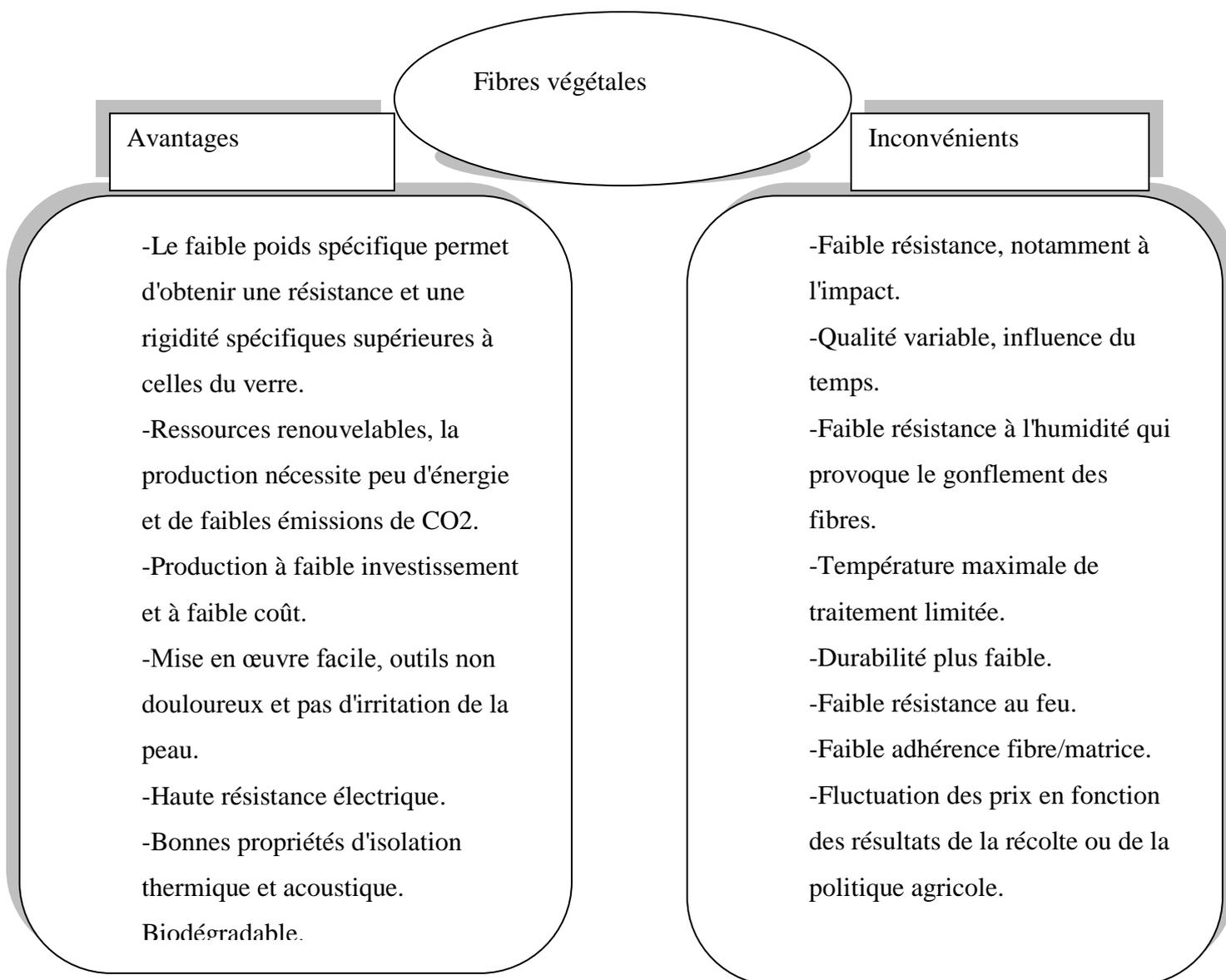


Figure 2-1:Avantages et inconvénients des fibres végétales.

2.3.2.7 Adhésion des fibres végétales à la matrice :

Il a été montré par Alvarez et Vázquez [110] que l'adhésion des fibres végétales à la matrice peut être évaluée par un test de traction ou de flexion, l'adhésion est bonne si aucun décollement de la fibre n'est observé. L'adhésion peut aussi être estimée avec l'imagerie MEB, plus la texture de la fibre est rugueuse, plus son contact avec la matrice est bon [111]. L'adhésion à la matrice a été améliorée lorsque les fibres ont été traitées par acétylène[110]. Les fibres traitées ont cassé pendant les tests mécaniques alors que les fibres non traitées ont glissé par rapport à la matrice. Cependant, il a été constaté qu'une réaction d'acétylation de 1 h améliorerait l'adhésion entre la fibre et la matrice, alors que l'adhésion n'était pas suffisante entre les fibres et la matrice, si la réaction durait 24 h ou 48 h.

Le traitement alcalin était l'un des plus courants parmi les références. Les fibres ont été traitées pour améliorer l'adhésion à la matrice, ce qui était une condition pour obtenir une bonne résistance mécanique du composite. Le traitement alcalin a séparé les faisceaux de fibres. L'adhésion entre les fibres était due à la pectine, l'hémicellulose et la lignine, qui ont été éliminées par la réaction chimique. Après le traitement, les fibres étaient plus rugueuses et striées, ce qui explique la meilleure adhésion à la matrice[110], [111]. Une autre raison du traitement alcalin était de donner un mélange homogène entre la matrice et les déchets de coton. Le coton a été trempé dans une solution d'hydrate de sodium (NaOH) pour éliminer les cires et les huiles [112]. Cependant, certains traitements, comme l'immersion dans l'eau bouillante ou l'huile de lin, ont induit une diminution de l'adhérence. Avec l'immersion dans l'eau bouillante, certaines fibres de la colonne vertébrale ont été enlevées, ce qui a conduit à une baisse de l'adhésion fibre-matrice [113]. Avec le traitement à l'huile de lin, l'adhésion entre les fibres et une matrice ciment-argile a diminué avec l'augmentation de l'intensité du traitement [114].



Figure 2-25: Observation au microscope de RM(CF) et RM(GF) [115].

2.3.2.8 Durabilité des fibres végétales :

Les fibres végétales sont des matériaux organiques, qui sont donc soumis à une décomposition naturelle qui se produit au fil des siècles [116]. Cependant, la définition de la durabilité varie selon les auteurs. Par exemple, il a été démontré par Sivakumar et Vasudevan [117], que les fibres de coco ne duraient que 2 à 3 ans sans aucun traitement. Certains auteurs ont essayé d'améliorer leur durabilité par différents procédés. L'acétylation a été appliquée aux fibres de coco et de palmier à huile par Hill et al. [118], Il a été observé que la résistance à la pourriture et à l'humidité était améliorée par ce traitement.

2.3.2.9 Biodégradation et développement de micro-organismes des fibres :

Tous les fibres naturels sont biodégradables, comme l'expérience l'a montré, et sont sensibles aux attaques biologiques [119]. Au fil des siècles, les matériaux organiques se décomposent. Ce type de dégradation est souvent causé par des micro-organismes. Des moisissures ont été observées sur l'échantillon fabriqué par Flament [120], après 10 jours des champignons ont été observés sur trois mortiers de terre contenant des fibres de chanvre sur des quatre groupes de liants dans ce dernier cas, la croissance biologique diminuait avec l'augmentation du liant et il n'y avait aucune prolifération avec les mortiers de chaux aérienne hydratée. La détérioration microbiologique peut également commencer pendant le stockage [121], et il peut être nécessaire d'ajouter un traitement avant le mélange. Certains petits insectes peuvent vivre dans les matériaux à base de terre s'ils contiennent beaucoup de matière organique comme la paille ou le bois.

2.3.3 Influence des fibres végétales sur l'état frais

2.3.3.1 Densité

La Figure 2-26. présenté par S. Ajouguim et al.[122] montre les variations de densité des différents spécimens. En comparaison avec l'éprouvette de référence, cette dernière a constaté que l'ajout de sable diminue la valeur de la densité. D'autre part, la densité a acquis des valeurs plus faibles par l'ajout de fibres Alfa non traitées. En effet, l'échantillon de référence a une valeur de densité élevée d'environ 3.22 g/cm^3 par rapport aux autres échantillons [123]. Cependant, les échantillons contenant des fibres traitées et en particulier les fibres traitées aux alcalis (ArSaFTa 1%), présentent des densités plus élevée que les autres bio-composites contenant des fibres non traitées. Cela signifie que le traitement alcalin permet la réduction des pores dans la matrice d'argile, en améliorant les propriétés d'adhésion pendant ce traitement [124]. La diminution considérable de la densité en augmentant le pourcentage de fibres traitées avec des alcalins à 1.5% pourrait s'expliquer par une augmentation de la porosité. En effet, une forte charge élevée des fibres provoque leur ségrégation, ce qui conduit à la détérioration des liens entre les fibres et la matrice [125].

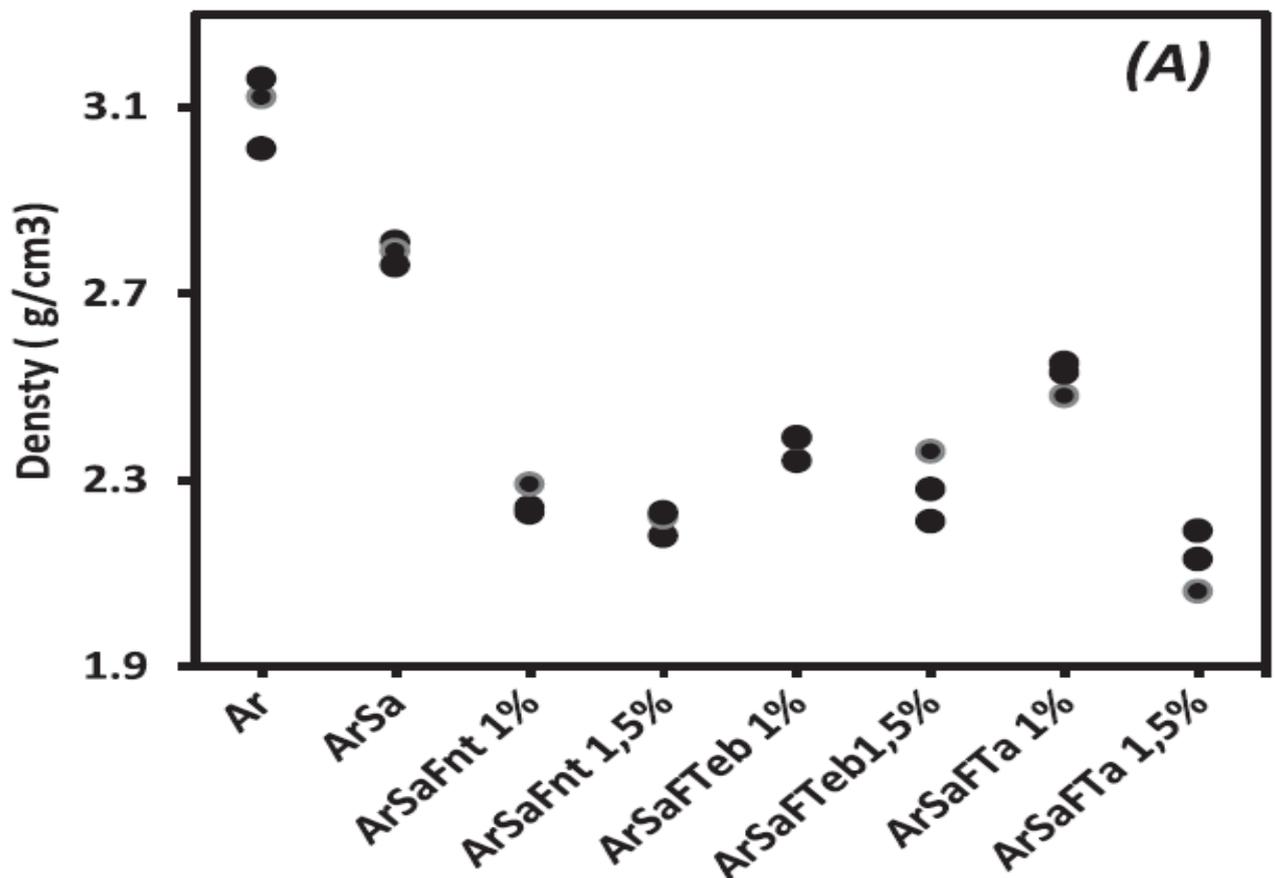


Figure 2-26: Variation de la densité [122].

2.3.3.2 Rhéologie :

L'introduction de fibres dans la matrice de ciment permet d'atteindre les objectifs suivants, la résistance, la durabilité et le faible coût des structures en béton. L'utilisation des fibres n'a cessé de croître au cours des dernières décennies. À l'heure actuelle, elle n'est pas seulement employée dans les bâtiments civils et industriels ordinaires, mais aussi dans de nombreux autres domaines, tels que les chaussées d'aéroports et d'autoroutes, les structures résistantes aux séismes et aux chocs, les tunnels, les tunnels, les ponts, les structures hydrauliques, etc. [126], [127]. En conséquence, de nombreuses études expérimentales ont été appliquées pour révéler ses propriétés rhéologiques et de développer de nouvelles règles pour une conception appropriée [126], [128]–[130]. Malgré les avantages du renforcement par fibres, celles-ci peuvent rendre la matrice de ciment difficile à travailler à l'état frais, ce qui nuit aux performances à l'état durci. Ceci est dû au fait que la compatibilité dimensionnelle entre les fibres affecte la mobilité relative des particules de granulats grossiers [131]. En outre, l'ajout de fibres augmente la superficie de la matrice. L'ajout de fibres augmente la surface qui doit être mouillée, réduisant ainsi la quantité d'eau libre pour lubrifier les particules de ciment [132], [133]. En outre, il est bien connu que l'efficacité de la fibre dépend de divers facteurs tels que le type de fibre, le volume de la fibre, la géométrie de la fibre, l'aspect de la fibre (longueur/diamètre), ainsi que l'orientation et la dispersion de la fibre [134]. Il existe d'autres paramètres qui affectent le comportement rhéologique d'une matrice cimentaire à base de fibre, tout comme la surface de la fibre, le module élastique de la fibre, la performance rhéologique du béton sans fibre, ainsi que les techniques de traitement [135]. En outre, les mêmes facteurs diminuent la maniabilité, mais inversement améliorent les propriétés mécaniques. En d'autres termes, l'ouvrabilité à l'état frais est l'une des principales limitations aux propriétés prometteuses du béton armé à l'état durci [136]. Govind et al.[137] ont observé que l'ouvrabilité du mortier de ciment renforcé avec des fibres indépendamment de la teneur en fibres ou des variations de longueur, n'a pas dépassé celle du mélange de contrôle. Les résultats montrent que l'ouvrabilité diminue avec une augmentation de la teneur en fibres. La raison possible de cette diminution peut être la consommation excessive d'eau par les fibres pour remplir les vides dans les parois cellulaires secondaires, pour éviter un gonflement et un retrait alternés[138], [139]. En plus de la raison ci-dessus, l'entrave causée par les fibres à l'écoulement du mortier c'est la résistance des fibres dans le chemin d'écoulement [140], [141]. Une corrélation entre l'ajout de fibres et l'ouvrabilité du composite a été confirmée par plusieurs études. Singh et al.[142] ont signalé qu'une teneur en eau insuffisante entraîne une mauvaise ouvrabilité. Par conséquent, une méthode permettant de déterminer la teneur en eau

optimale et l'influence du rapport E/C sur le mortier de ciment doit évidemment être recherchée. Haach et al. [143] ont également confirmé que l'ouvrabilité du mortier augmente avec l'augmentation du rapport E/C. Bouhamou et al.[144] ont observé que l'augmentation du dosage de l'eau sert à augmenter la fluidité du béton et provoque une diminution de la concentration de solides à l'intérieur de la matrice. Une injection excessive d'eau provoque en fait l'apparition de phénomènes de ségrégation à l'état frais. D'autre part, S.Ajouguim et al. [115] ont constaté que l'augmentation de la teneur en fibre conduit à une diminution de l'ouvrabilité de la matrice, néanmoins l'augmentation de longueur de fibre affecte négativement sur l'ouvrabilité.

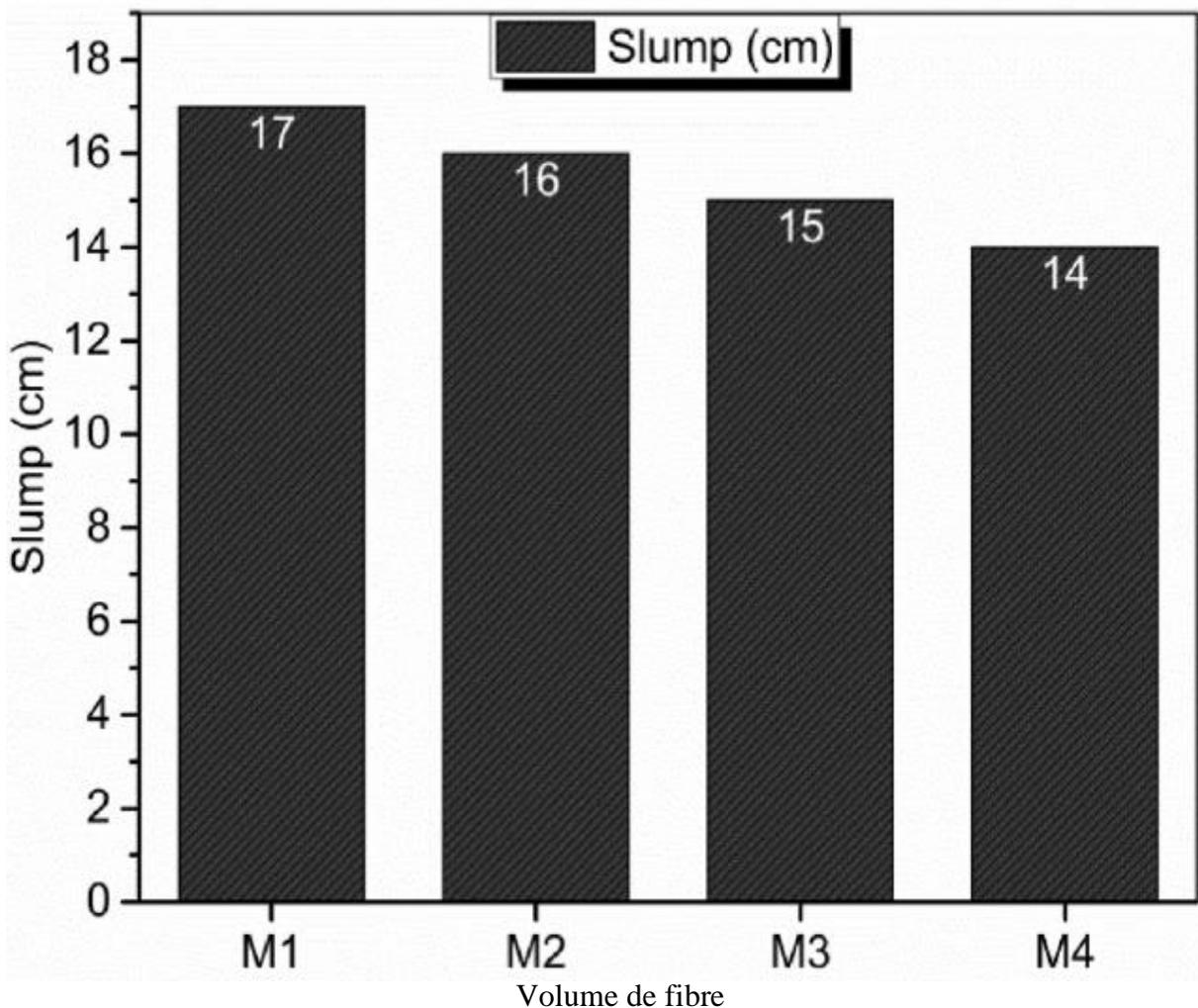


Figure 2-27: Valeurs d'affaissement des mélanges de mortier[145].

2.3.4 Influence des fibres végétales sur l'état durci

2.3.4.1 Résistance à la traction par flexion :

Selon [114], [146]–[149] l'ajout des fibres végétale sa diminué la résistance à la traction. Par exemple, l'ajout de 0,2% de fibres de palmier à huile a conduit à une diminution de la résistance à la traction d'environ 20% [149]. Ce dernier pourrait être attribué à l'hétérogénéité du matériau, à la fragilité et à la faible résistance à la traction de la fibre. Cela pourrait également s'expliquer par la diminution de la matrice minérale lorsqu'elle a été remplacée par la fibre de bois[114]. Ou la faiblesse de l'adhérence entre les fibres et la matrice, même lorsque la teneur en fibres n'était que de 0,5 %. Même lorsqu'il n'y avait que 0,6% de fibres [148]. Pour justifier la diminution de la résistance à la traction, J.E. Aubert et al.[150] ont supposé que le matériau était moins compacté avec les fibres, donc les particules du sol étaient moins proches les unes des autres et les forces de cohésion et de friction étaient moins importantes.

Dans autres cas d'étude, les résistances à la traction ont été améliorées par des agrégats naturels ou de l'ajout de fibres[114], [151]–[153]. La résistance à la traction à été améliorée de 30% avec l'ajout de 1% de paille de blé [153]. La résistance à la traction semble être influencée par la longueur des fibres. pour une teneur en Kenaf d'environ 0,2% [151]. La ductilité à également été améliorée avec l'ajout de fibres, qui sont capables de s'auto-déformer, surtout lorsque leur longueur augmente [151].

Mesbahet al.[154] ont décrit le comportement de la rupture en traction comme une rupture en deux étapes : la première correspondant à la rupture de la matrice d'argile et la seconde celle de l'agrégat ou de la maille de fibres. La résistance à la traction dépendait également du type de particules, de leur résistance à la traction et de leur rugosité, qui permettant une meilleure adhésion à la matrice [155].

Dans autre partie [113], [156]–[160], la résistance à la flexion a été améliorée par l'ajout des fibres végétaux. Par exemple, la résistance à la flexion a augmenté de 30% avec l'ajout de fibre [158]. La propagation des fissures a été limitée par la présence de fibres, ce qui a conduit à un effet de pontage avec l'argile et a augmenté la friction à l'interface, entre les fibres et la matrice[158], [159]. Ceci a été observé spécifiquement pour les sols contenant beaucoup d'argile et pour les fibres les plus longues [157]. Le lien avec la longueur pourrait s'expliquer par une plus grande surface de contact avec la matrice argileuse, et donc un meilleur ancrage

des fibres [159]. Par contre, Dans seulement deux cas, une diminution de la résistance à la flexion a été trouvée dans 2 références suivante [112], [161].

Page et al.[162] ont étudié l'effet de la variation de la longueur des fibres de lin sur les propriétés d'un béton structural. Il à été constaté que la longueur de la fibre et le taux d'ajout influencent significativement la résistance à la flexion du béton renforcé de lin. Il a été noté que plus la teneur en fibres de lin est faible, plus la résistance à la flexion basse.

De plus, ces auteurs ont confirmé que la résistance à la flexion du composite augmentait lorsque la longueur des fibres diminuait. De même, Çomak et al.[84] ont corroboré cette même corrélation entre les fibres de chanvre et les propriétés mécaniques des mortiers à base de ciment. Il a été rapporté qu'une augmentation de la teneur en fibres conduit à une augmentation de la résistance à la flexion comprise entre 1 % et 17 %. La différence observée par ces deux auteurs pourrait être liée à la longueur réelle des fibres étudiées. Page et al. [162] ont utilisé des fibres de lin coupées à (12, 24 et 36 mm), ce qui présente une longueur moyenne plutôt élevée. En revanche, la plus grande longueur étudiée par Çomak et al.[84] et de (18 mm), une valeur plus proche de la longueur optimale compte tenu de la résistance à la flexion plus élevée rapportée dans la recherche de Page et al.[162]. Cette discordance par rapport au présent travail pourrait s'expliquer par la différence dans la morphologie des fibres.

S.Ajouguim et al.[115] ont étudié l'effet de la variation de la longueur (10, 20 et 30 mm) et des ratios volumiques : 1, 2 et 3% des fibres d'alfa sur les propriétés d'un mortier à 28 et à 90 jours. Ils ont constaté que l'augmentation de volume de fibre diminue la résistance à la flexion, aussi la langue de 10mm de fibre a donné une meilleur résistance à la flexion qui à diminue en utilisant la langue de 20 et 30 mm respectivement.

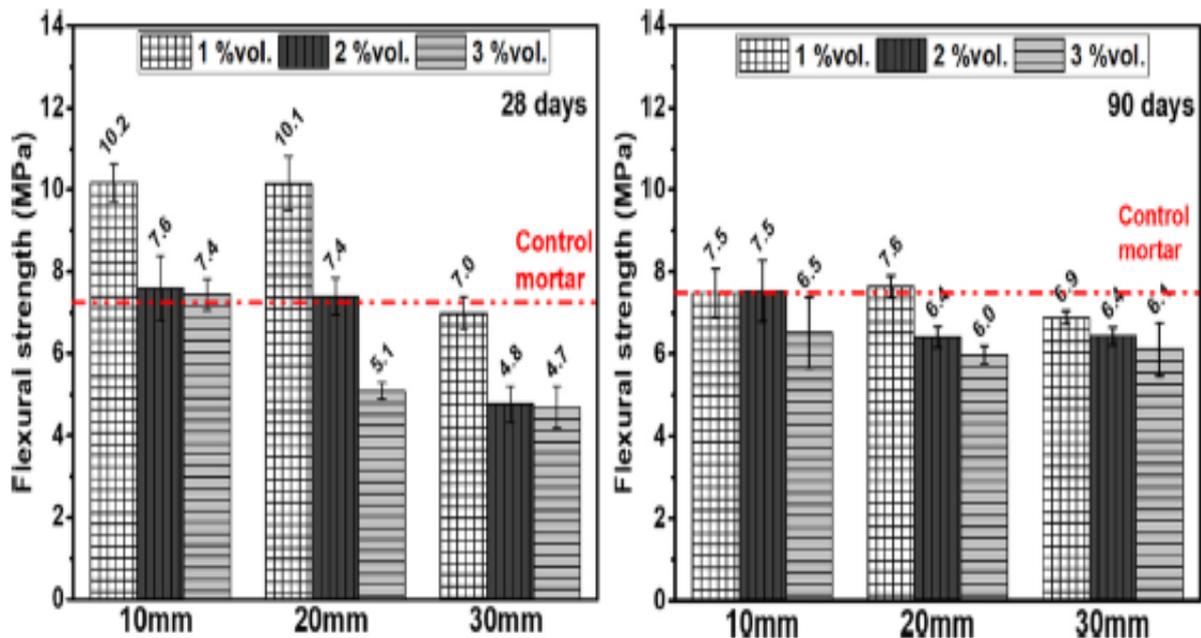


Figure 2-28: Résistance à la flexion des mortiers renforcés par des fibres coupées à 28 et 90 jours de cure [115].

2.3.4.2 Résistance à la compression :

L'ajout de fibres d'ananas et de palme étudiée par Chee-Ming [163] n'a amélioré la résistance que lorsque la teneur en poids du ciment était supérieure à 15 %. Deux longueurs de fibres et différentes proportions ont été étudiées par Millogo et al. [151]. L'optimum déterminé était une teneur en fibres de 0,4%, qui augmentait la résistance d'environ 16% pour les fibres courtes. Cette augmentation de la résistance à la compression a été corrélée avec les caractéristiques de fibre de kenaf.

Millogo et al. [151] ont expliqué que l'incorporation de fibres de kenaf réduit la propagation des fissures dans les blocs, grâce à la bonne adhérence des fibres à la matrice, cela a amélioré leurs propriétés mécaniques. La résistance à la compression a même été améliorée de 37% par la laine de mouton et a été doublée si la laine a été combinée avec de l'argile [158].

Certains auteurs reliant les propriétés mécaniques à la porosité ont déclaré que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la porosité, c'est-à-dire l'augmentation de la teneur en fibre. Les études de Bouguerra et al. [164] ont constaté que, la résistance à la compression était plus faible avec les fibres en raison de la faible adhérence entre les particules et la matrice argileuse. Les fibres pouvaient glisser facilement, réduisant l'homogénéité du matériau composite.

S.Ajouguim et al.[115] ont dévoilé que après 28 et 90 jours de cure des différents mortiers à l'introduction des fibres d'Alfa réduit la résistance à la compression du composite durci, par rapport au mortier de référence. L'augmentation de la teneur en fibre conduit à une plus faible résistance à la compression. Par conséquent, l'augmentation de la longueur des fibres révèle une réduction de résistance par rapport au mortier de référence. Ce dernier semble donc exercer une influence plus significative sur la résistance à la compression.

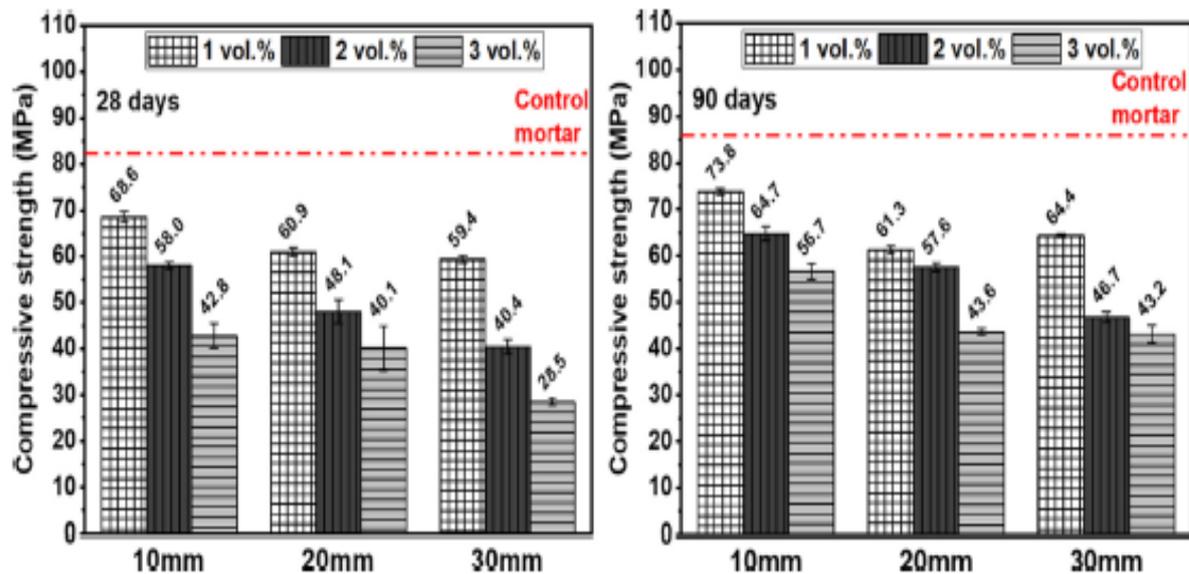


Figure 2-29: Résistance à la compression des mortiers renforcés par des fibres coupées à 28 et 90 jours de cure[115].

2.3.4.3 Cisaillement oblique :

C. Zanotti et al.[165] ont remarqué que les spécimens de réparation en mortier ordinaire ont montré un mode de rupture fragile, de type explosif, tandis que les spécimens de réparation en mortier renforcé par des fibres présentaient une rupture plus ductile. Ceci indique clairement que la rupture de l'interface dans le cas des mortiers renforcés par des fibres était lente et avec une ductilité significative et l'absorption d'énergie de la source de chargement.

Dans les Figure2-(30, 31, 32) les résultats pour les spécimens de mortier ordinaire, celle de mortier portant 0,5% de fibre, et celle de mortier contenant 1.0% de fibres sont présentés pour les interfaces saines (a) et endommagées (b), respectivement.

La résistance à la compression du béton de support brut et du mortier de réparation est également notée. La résistance à la compression du béton ordinaire (74MPa) en cas de conditions sonores est supérieure à celle du mortier renforcé de fibres (62MPa) en raison de la contribution d'agrégats grossiers dans le premier. L'ajout de fibres d'alcool polyvinylique

(PVA) dans le mortier, par contre, a permis une rupture moins fragile. La résistance moyenne à la compression des échantillons composites était inférieure aux résistances à la compression de ses deux composants (béton et mortier), en raison d'une rupture survenant le long du plan de liaison comme souhaité.

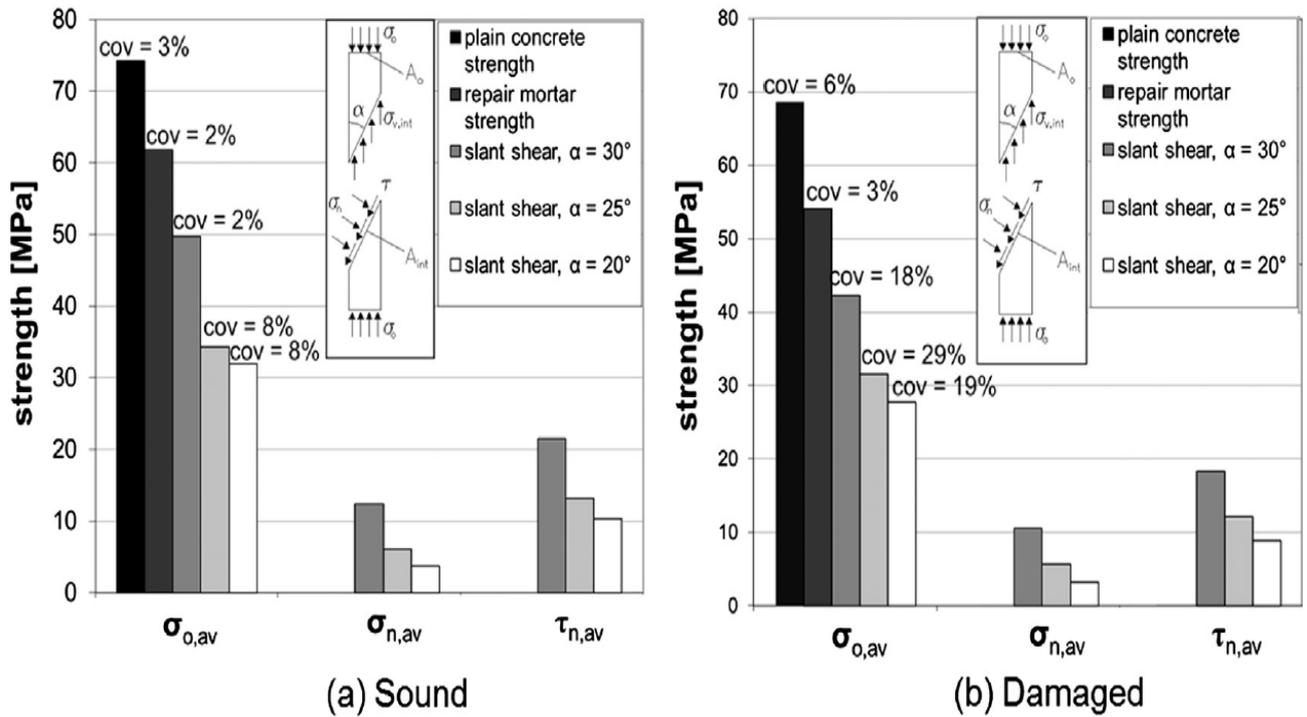


Figure 2-30: Résultats pour les échantillons d'un mortier de réparation ordinaire[165].

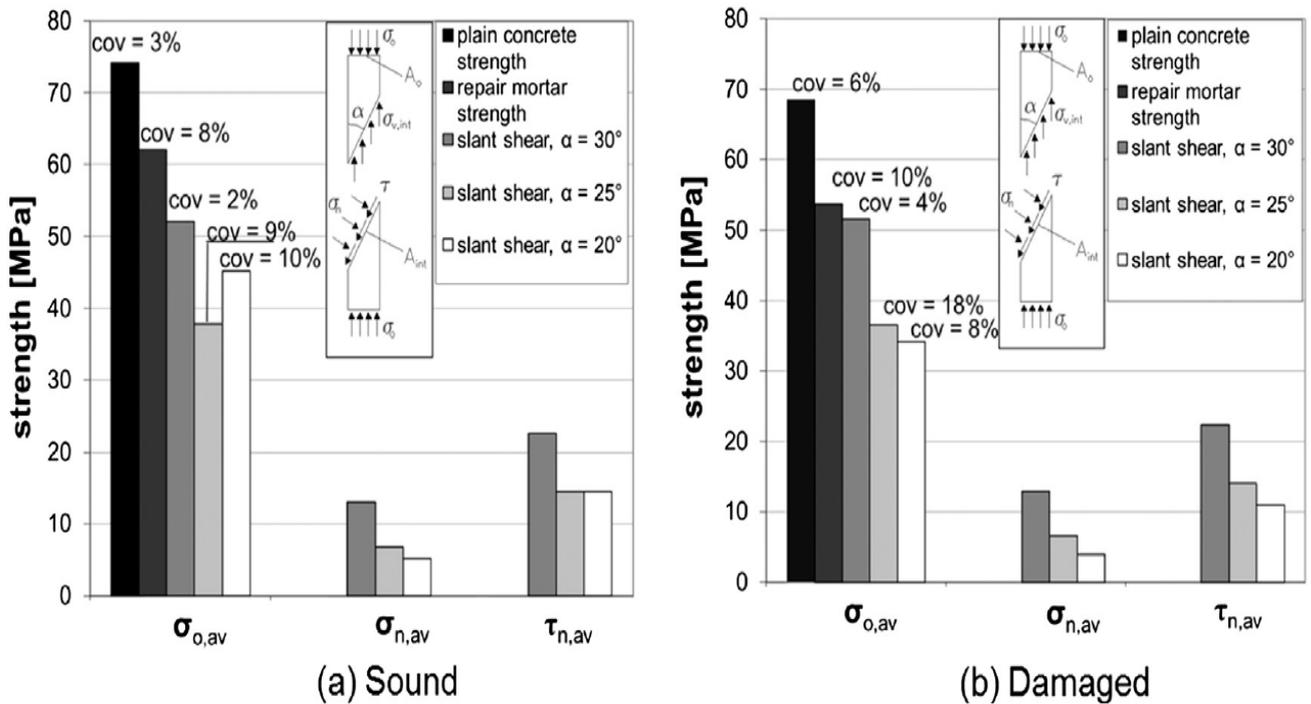


Figure 2-31: Résultats pour les échantillons d'un mortier de réparation renforcé ($V_f = 0.5\%$)[165].

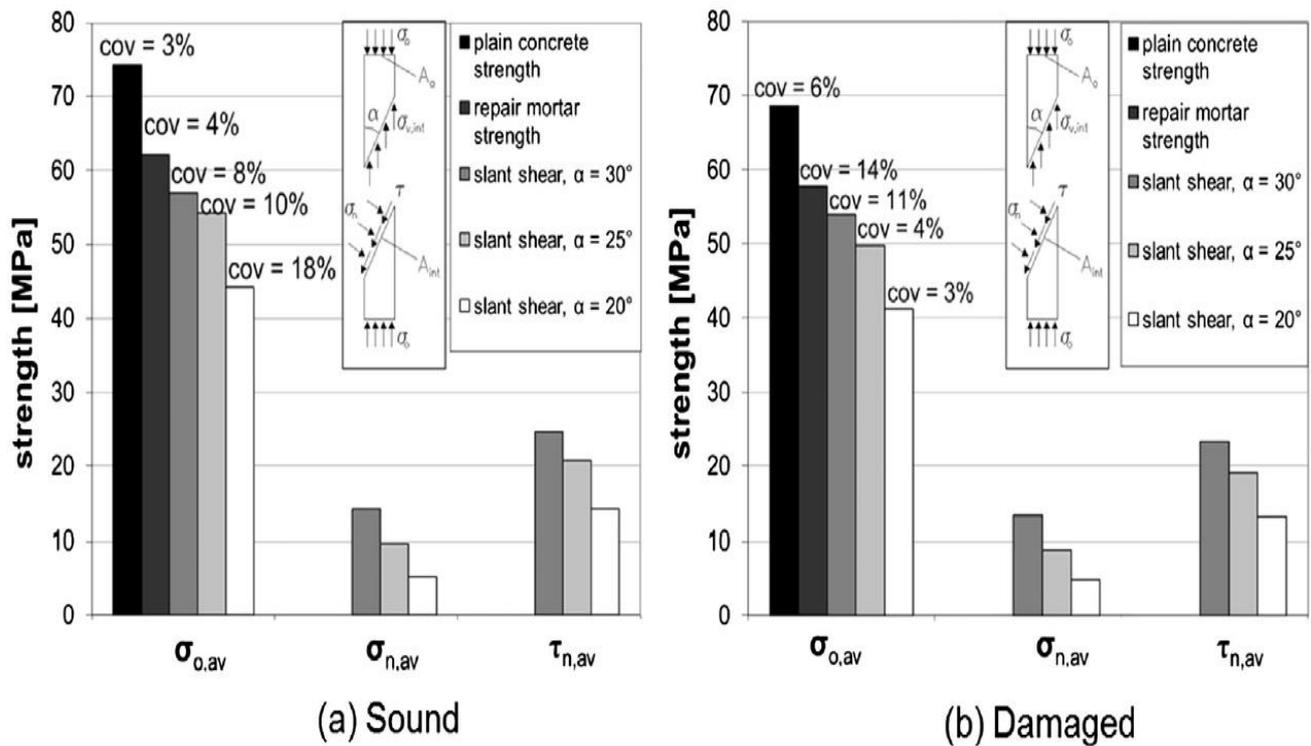


Figure 2-32: Résultats pour les échantillons d'un mortier de réparation renforcé ($V_f = 1\%$)[165].

2.3.4.4 Absorption capillaire :

L'absorption capillaire dans les mortiers de ciment ne montre pas de changement significatif lorsque les fibres ont été ajoutées, indiquant que l'adhérence des fibres était forte et qu'aucun vide capillaire n'a été créé autour des fibres [166]. Keskindo et Stefanidou ont remarqué que dans les mortiers à la chaux, il y avait une différenciation, car les mortiers avec des fibres de varech semblent avoir une capacité d'absorption d'eau plus élevée en raison de la capillarité par rapport aux mortiers avec des fibres de noix de coco et de jute [166].

Niu et al.[167] ont rapporté que l'ajout d'une quantité appropriée de fibre au béton/mortier peut conduire à une réduction significative de l'absorption d'eau du béton/mortier. D'autres travaux de recherche ont prouvé que le caractère hydrophile des fibres naturelles influence fortement sur la capacité d'absorption d'eau d'une matrice renforcée par des fibres naturelles[168], [169]. À cet égard, des traitements des fibres ont été recommandés afin de réduire le contenu amorphe, causant ce comportement.

S. Ajouguim et al.[122] ont approuvé que l'absorption d'eau par capillarité à été réduite lors de l'utilisation des fibres Alfa traitées. En fait, le niveau d'eau est principalement constant après 24 heures. À l'inverse, le composite renforcé par des fibres d'alfa non traité fournit un apport d'eau important. Ce comportement pourrait être attribué à la diminution du vide capillaire des fibres due aux traitements alcalins et hydrothermaux [106], [150], [170], [171].

La Figure2-33, montre le ratio d'absorption d'eau pour les différents spécimens. Les spécimens avec 1,5 % en poids de fibres d'alfa traitées hydrothermale-ment présentent la plus faible consommation d'eau d'environ 47% après 24 heures. Suivies par les spécimens avec des fibres traitées par une solution alcaline par une consommation d'eau d'environ 56% après 24 h de test. Ce résultat a confirmé l'efficacité du traitement des fibres[122].

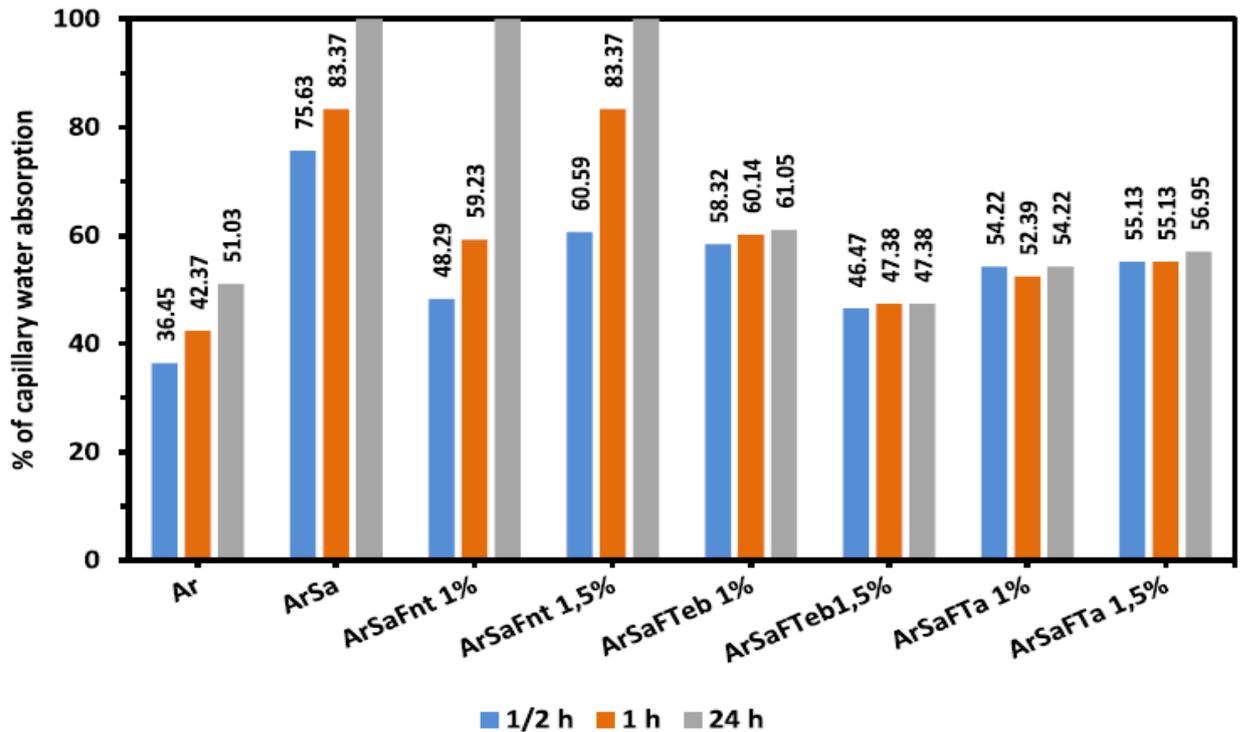


Figure 2-33: Pourcentage de la consommation d'eau [122].

2.3.4.5 Conductivité thermique :

La conductivité thermique (CT) d'un matériau décrit sa capacité à conduire la chaleur. Cette dernière dépend principalement de la longueur du libre parcours moyen des phonons pour les composites à base de ciment. Lorsque la température augmente, il y a une augmentation de l'énergie de vibration qui renforce l'interaction entre les ondes du réseau et augmente leur probabilité de collision. Cela conduit à une réduction de la longueur du libre parcours moyen, et donc la conductivité thermique diminue avec la température [172]. En outre, l'augmentation du nombre et de la taille des discontinuités (vides ou fissures) avec la température entraîne une diminution du volume du milieu solide et réduit également la conductivité thermique. Par conséquent, des facteurs tels que l'augmentation de la température, le rapport eau/liant et la fusion des fibres qui conduisent à une augmentation de la porosité de la matrice en fibre peuvent réduire la conductivité thermique [173].

Plusieurs auteurs [150], [174] qui avaient observé la diminution de la conductivité thermique avec l'augmentation du pourcentage de fibres. Lima et al. [175] ont mis en évidence que l'augmentation de la porosité conduit à une densité plus faible, ce qui conduit à une diminution de la conductivité thermique. Les mêmes auteurs ont montré que la conductivité thermique était en accord avec la porosité ouverte.

Zheng et al.[176] ont évalué l'effet des températures élevées sur la CT du béton à base de fibre de polypropylène. Avec l'ajout de fibres de PP. La CT des différents spécimens de RPC était compris entre 2,79 et 2,88 W/mo à température ambiante. Une diminution relativement plus importante à été observée avec une teneur en fibre plus élevée à une température inférieure à 200 C, comme le montre la Figure2-34.

Li et al. [173] ont également observé que la CT diminue avec l'augmentation de la température ou de la teneur en fibres (Figure2-35). La CT a diminué d'environ 10,3% lors de l'augmentation du volume de fibres de 1,5% à 2,2% à 200 C. Il à été démontré que la CT dépend de la densité de la microstructure à la température respective.

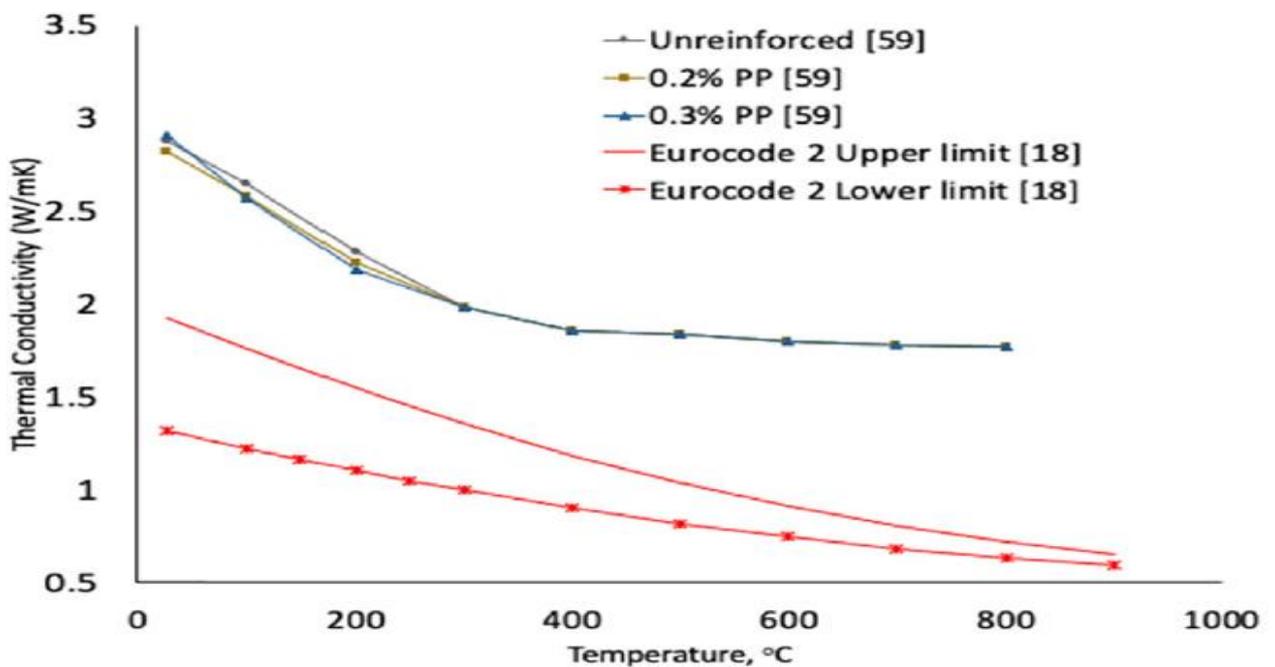


Figure 2-34: Variation de la CT de différents types de béton fibré à des températures élevées[176].

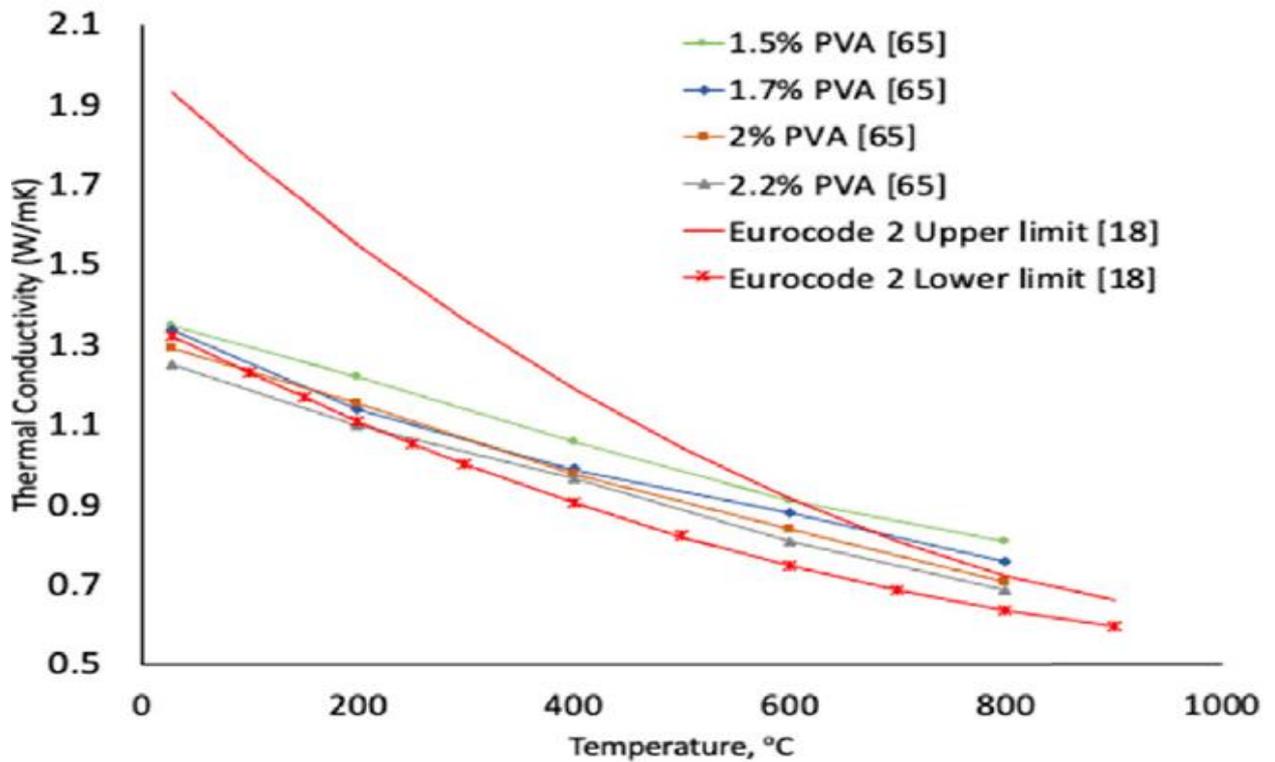


Figure 2-35: Variation de la CT de différents types de béton fibré à des températures élevées [173], [176].

2.3.4.6 Porosité :

La porosité est un paramètre essentiel capable d'influencer les propriétés mécaniques d'un matériau cimentaire. Ainsi, l'incorporation de fibres végétale est susceptible d'influencer la porosité du composite durci. De plus, la porosité est généralement un indicateur de durabilité pour les matériaux cimentaires puisqu'elle détermine la pénétrabilité des agents agressifs dans le matériau [177].

D'après Djelal et al. [178], des résultats ont été présentés, avec des changements enregistrés pour les mortiers à base de sciure de bois. Les auteurs ont lié la différence observée dans les résultats à la morphologie des agrégats de bois. En raison de la morphologie des fibres de bois, dans sa forme élancée, ces fibres naturelles sont capables d'emprisonner un grand volume d'air.

La Figure 2-36 présente la porosité accessible à l'eau du mortier renforcé en fonction du taux d'ajout de fibres d'alfa mené par S. Ajouguim et al. [115], il faut d'abord souligner que la porosité accessible à l'eau des différents mortiers dépend du taux d'ajout de fibres.

L'augmentation de l'ajout de fibres entraîne une plus grande porosité du mortier. L'évolution de la porosité du mortier avec des fibres broyées est similaire à celle du mortier avec des fibres coupées, car elle présente une évolution linéaire par rapport au taux d'ajout de fibres, à celle de contrôle. Des travaux antérieurs ont confirmé que l'inclusion des fibres végétales dans une matrice à base de ciment augmente la porosité du composite [179], [180]. La porosité supplémentaire créée à l'intérieur de la matrice est principalement due aux changements volumétriques des fibres végétales entre le coulage et le durcissement du mortier renforcé. L'hydrophile des fibres végétales contribue en effet fortement à l'augmentation du niveau accru de porosité. Il a été signalé que les fibres végétales absorbent l'eau pendant l'étape de mélange, entraînant ainsi une variation de volume avec des phénomènes de rétrécissement/gonflement de la fibre[181]. Cette variation perturbe la réaction d'hydratation du ciment et favorise la création de pores. La différence observée au niveau de la porosité accessible à l'eau des mortiers renforcés par des fibres coupées (RM(CF)) et des mortiers renforcés par des fibres broyées (RM(GF)). Pourrait être expliquée par la morphologie différente des fibres. Pendant le durcissement du composite, les fibres coupées présentent un changement de volume important, ce qui entraîne une augmentation des vides dans la matrice[115].

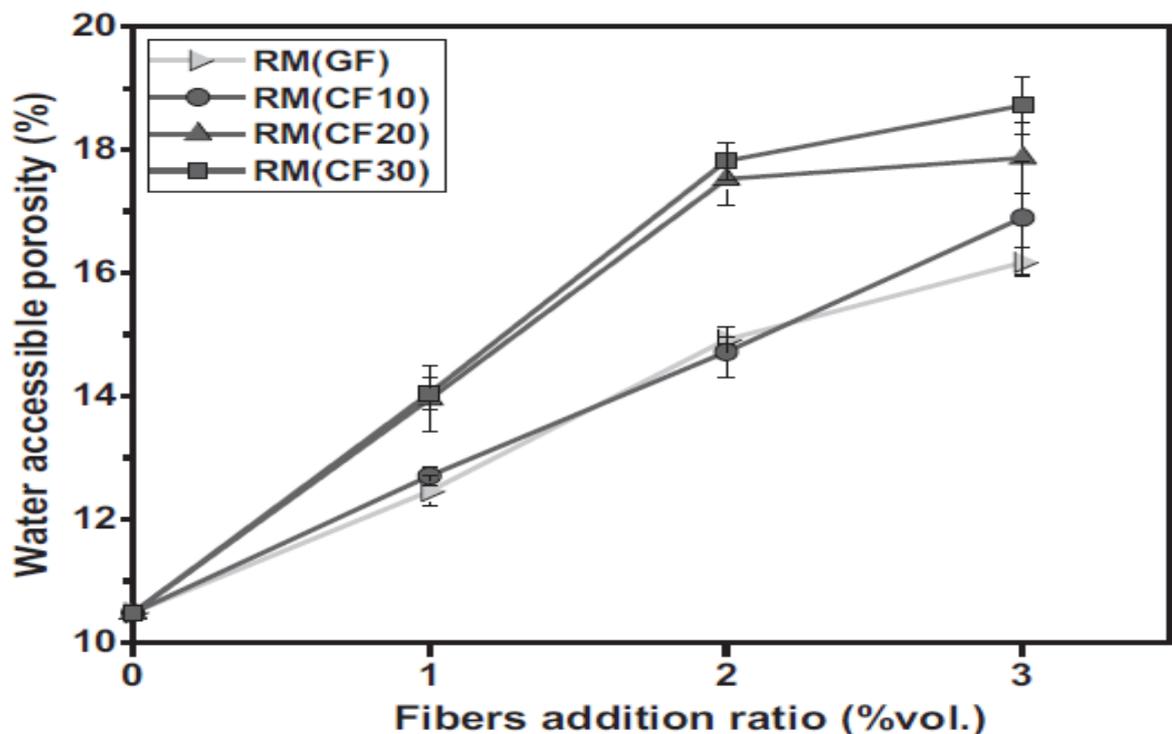


Figure 2-36: Porosité des mortiers renforcés avec des fibres Alfa en fonction du rapport d'addition des fibres[115].

2.3.4.7 Durabilité des composites de ciment renforcés par des fibres végétales :

La durabilité des composites de ciment renforcés par des fibres végétales est liée à la capacité de résister aux agressions externes (variations de température et d'humidité, attaque par les sulfates ou les chlorures, etc. Internes (compatibilité entre les fibres et la matrice cimentaire, changements volumétriques) etc. La dégradation des fibres naturelles immergées dans le ciment Portland est due au milieu fortement alcalin qui dissout les phases de lignine et d'hémicellulose, affaiblissant ainsi la structure des fibres [182]. Gram a été le premier auteur à étudier la durabilité du béton renforcé par des fibres de sisal et de coco. La dégradation des fibres a été évaluée en les exposant à des solutions alcalines et en mesurant les variations de la résistance à la traction. Cet auteur a rapporté l'effet délétère des éléments Ca^{2+} sur la dégradation des fibres. Il a également déclaré que les fibres étaient capables de préserver leur flexibilité et leur résistance dans des zones où le béton est carbonaté avec un pH de 9 ou moins.

Toledo Filho et al.[183] ont également étudié la durabilité des fibres de sisal et de coco lorsqu'elles sont immergées dans des solutions alcalines. Les fibres de sisal et de noix de coco conditionnées dans une solution d'hydroxyde de sodium ont conservé respectivement 72,7% et 60,9% de leur résistance initiale après 420 jours. Quant à l'immersion des fibres dans une solution d'hydroxyde de calcium, on a remarqué que la résistance initiale était complètement perdue après 300 jours. L'explication de l'attaque plus importante par $\text{Ca}(\text{OH})^2$ peut être liée à une cristallisation de la chaux dans les pores des fibres.

Ramakrishna et al.[184] ont également rapporté une dégradation de la fibre naturelle lorsqu'elle est exposée à un milieu alcalin. D'autres auteurs.[185] ont étudié le béton armé de palmier dattier en rapportant une faible performance de durabilité qui est liée à la dégradation de la fibre lorsqu'il est immergé dans des solutions alcalines. Les tuiles à base de fibres végétales et de ciment montrent une réduction de la ténacité de 53% et 68% après 4 mois d'exposition aux intempéries extérieures (Figure2-37) [186]. Ghavami.[187] a rapporté le cas d'une poutre en béton armé de bambou, vieille de 15 ans et sans signe de détérioration.

Lima et al.[188] ont étudié les variations de la résistance à la traction et du module d'Young d'un béton renforcé de fibres de bambou exposé à des cycles de mouillage et de séchage. Rapportant des changements insignifiants, confirmant ainsi sa durabilité. La capacité des fibres naturelles à absorber l'eau est une autre façon de diminuer la durabilité du béton renforcé par des fibres. L'absorption d'eau entraîne des changements de volume qui peuvent

induire des fissures dans le béton [187], [189]. Les composites de ciment obtenus par le procédé Hatschek montrent une durabilité élevée pour le sisal à haut degré de raffinage de la pâte de sisal [189]. Afin d'améliorer la durabilité des composites de ciment renforcés par des fibres, deux voies peuvent être utilisées.

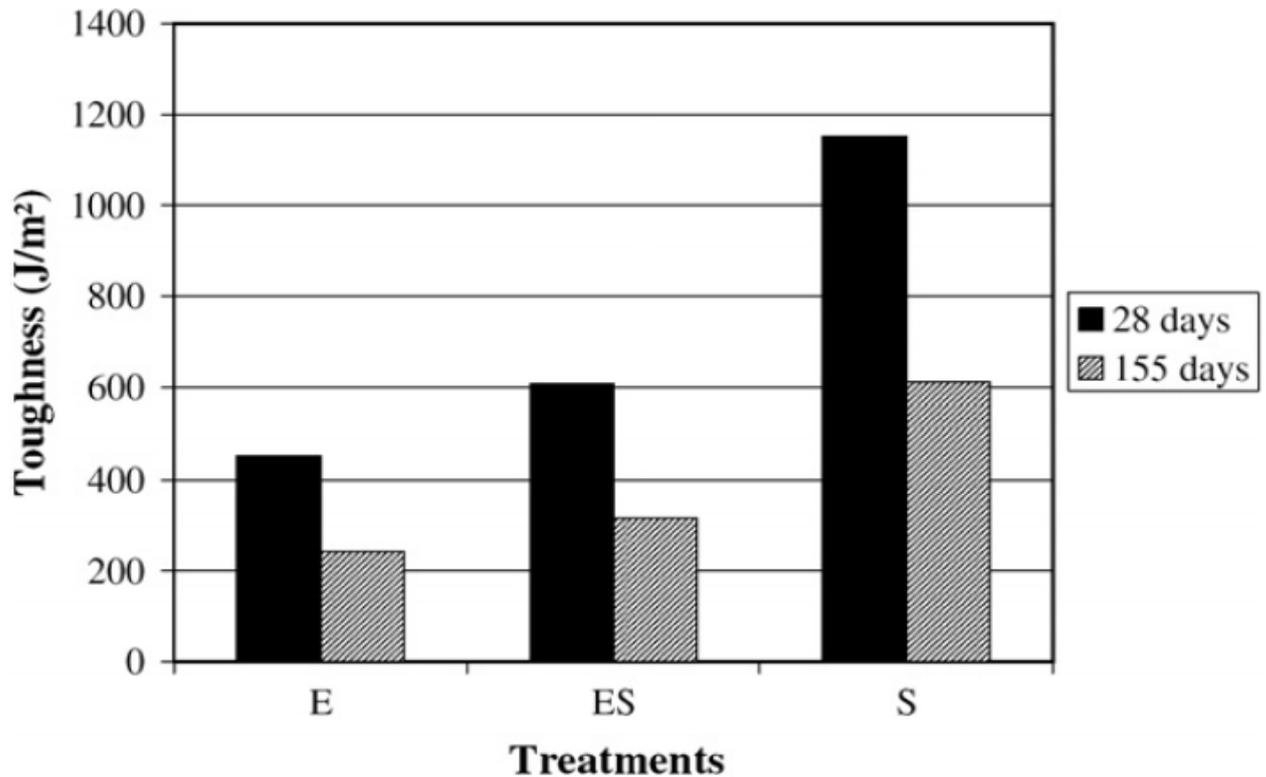


Figure 2-37: Résistance des carreaux en fibrociment végétal. E (5% d'eucalyptus) ; S (3% de sisal) ; ES(1% d'eucalyptus, 3% de sisal) [186].

2.4 Traitement des fibres végétales :

2.4.1 Méthodes de prétraitement des fibres végétales :

Au cours de ces dernières années, l'utilisation de fibres végétales comme renfort dans les matériaux composites a connu un essor considérable [110], [190], [191]. Ce gain d'intérêt provient de la combinaison de plusieurs avantages tels que : faible coût, faible densité, non-toxicité, hautes propriétés spécifiques, aucune abrasion pendant le traitement, et la possibilité de recyclage. Cependant, il y a un certain nombre de difficultés associées à l'intégration de ces fibres dans les matrices polymères, en particulier l'incompatibilité fibre matrice. L'adhérence fibre-matrice peut être améliorée par la modification de la topologie de la surface de la fibre. De divers traitements permettent la modification de la surface des fibres. Ces traitements

améliorent la mouillabilité de la fibre avec la matrice et créent un lien fort à l'interface fibre-matrice. Une bonne adhérence à l'interface contribue à son tour, à l'amélioration du transfert de charges entre les fibres et la matrice et par conséquent de meilleures propriétés mécaniques sont accrues [192]. Pour surmonter cet inconvénient, différentes méthodes de prétraitement ont été mises en œuvre pour améliorer les propriétés de surface de la fibre végétale.

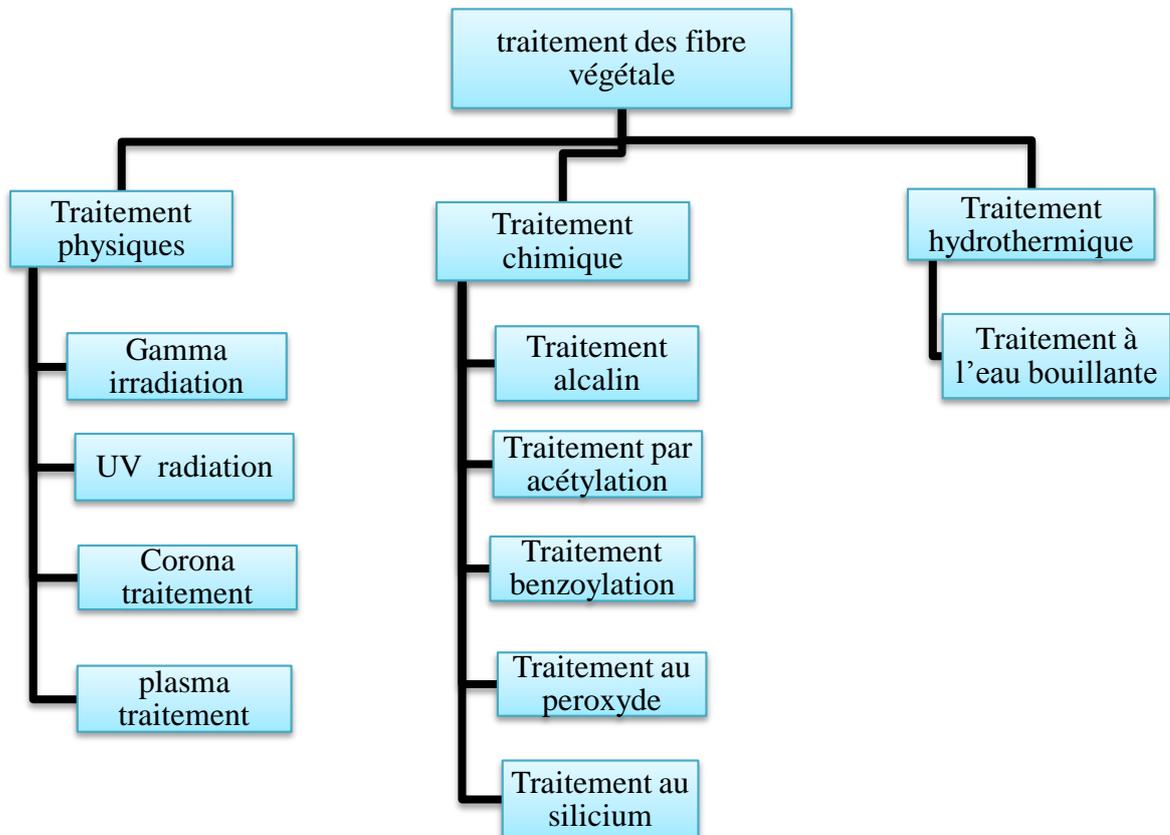


Figure 2-38: Les différentes procédures de traitement des fibres.

2.4.1.1 Traitement physique :

Les traitements physiques des fibres végétales modifient la structure et les propriétés de surface des fibres sans utiliser d'agents chimiques, ainsi l'influencent de liaison mécanique avec la matrice dans le composite. Les traitements par rayonnement et décharge, tels que le

rayonnement UV, rayons gamma, les traitements corona et plasma sont les techniques physiques les plus utilisées dans les composites à base de fibres végétales en ce qui concerne l'amélioration des propriétés fonctionnelles des fibres végétales. Permettant généralement des changements physiques et chimiques significatifs ainsi que des changements dans la structure et l'énergie de surface de la fibre végétale [193], [194].

Tableau 2-5: Travaux sur le traitement physique des composites à base de fibres végétales

Composite	traitement	Effet et résultat du traitement	Références
Composite fibre de basalte/époxy	Gamma irradiation	L'irradiation a induit la scission de la chaîne polymère et l'oxydation à la surface et à l'intérieur de la matrice de résine; La propriété de traction du composite irradié est restée stable et la performance de flexion a subi une faible amplitude, tandis que la résistance au cisaillement inter-laminaire a augmenté.	R. Li et al.(2015) [195]
Composite fibre de jute	UV radiation	La résistance à la traction et à la flexion du composite a augmenté avec le renforcement du rayonnement UV jusqu'à une dose de rayonnement de 50 ; par rapport au composite non traité, le composite traité a montré une augmentation de 18 % de la résistance à la traction et de 20 % de la résistance à la flexion, respectivement.	H. U. Zaman et al .(2009) [196]
Composites fibre de miscanthus	Corona traitement	Le traitement corona des fibres a entraîné une oxydation de la surface et un effet d'attaque, ce qui a conduit à une amélioration de la compatibilité inter-faciale entre la fibre et les matrices, ainsi, les propriétés mécaniques et thermiques (module d'Young, contrainte à la limite d'élasticité, température de transition vitreuse et température de décomposition) des composites traités ont été considérablement améliorées grâce à une meilleure interaction entre les constituants.	M. Ragoubi et al .(2011) [197]
Composite fibre de lin/polyester	plasma traitement	Après le traitement au plasma d'air de la fibre de lin à une puissance de 300 W, la résistance à la traction, la résistance à la flexion, le module de flexion et la résistance au cisaillement inter-laminaire des composites polyester renforcés par des fibres de lin ont augmenté respectivement de 34 %, 31 %, 66 % et 39 %. Principalement en raison de l'amélioration de l'adhérence entre la fibre traitée et la matrice de polyester.	M. Sarikanat et al.(2016) [198]

2.4.1.2 Traitement hydrothermique :

Le traitement hydrothermique consiste à immerger les fibres dans de l'eau bouillante pendant différentes périodes (5, 15, 30,60 min, 2 h et 4 h). Ensuite les fibres bouillies doivent être rincées afin d'éliminer les matières extractibles libérées. Enfin, le séchage des fibres nettoyées à une température ambiante pendant 48 heures. Le traitement hydrothermique pourrait être utilisé en raison de sa rentabilité. Cette voie permet d'éliminer les matières solubles dans l'eau (Cire, polysaccharides et impuretés) de la surface des fibres et la réduction de la teneur en pectine [199], [200]. Il a été prouvé que le traitement hydrothermique augmente les caractéristiques mécaniques des fibres de Diss et réduit la quantité de composants de 30,78 à 0,72% [179]. Certaines études ont examiné la performance des fibres Alfa traité avec de l'eau bouillante.

La Figure2-39 présenté par S.Ajouguim et al [201], rapporte les changements de l'indice de cristallinité en fonction du temps de traitement des fibres dans l'eau bouillante. L'indice de cristallinité a augmenté pour atteindre un maximum de 86,69% à environ 60 minutes de traitement. Pour des périodes plus longues, l'indice de cristallinité diminue considérablement, ce qui pourrait être attribué à la dépolymérisation de la cellulose cristalline [202]. L'augmentation de l'indice de cristallinité est attribuée à la dissolution des composants amorphes de la fibre. Ce comportement peut être expliqué par des analyses FTIR (Figure2-40). En effet, les résultats ont montrés que les traitements dépassant 2h pouvaient causer une diminution de l'intensité de la bande observée à $3800-3100\text{ cm}^{-1}$ des groupes hydroxyle (OH) cellulosiques, par rapport à celle des fibres non traitées. Cette dégradation des composés cellulosiques, elle était liée à l'étirement des groupes carbonyles acétyles (C=O) présents dans la structure de l'hémicellulose [203].

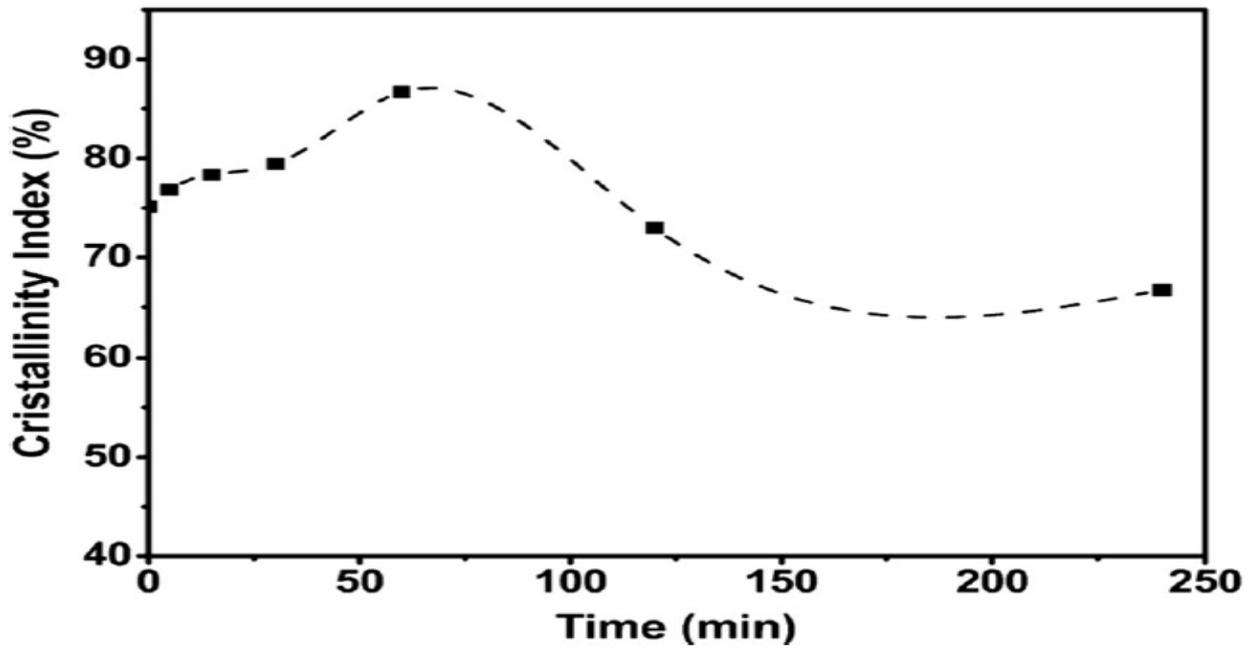


Figure 2-39: Indice de cristallinité obtenu à partir de DRX des échantillons traités par hydrothermie[201].

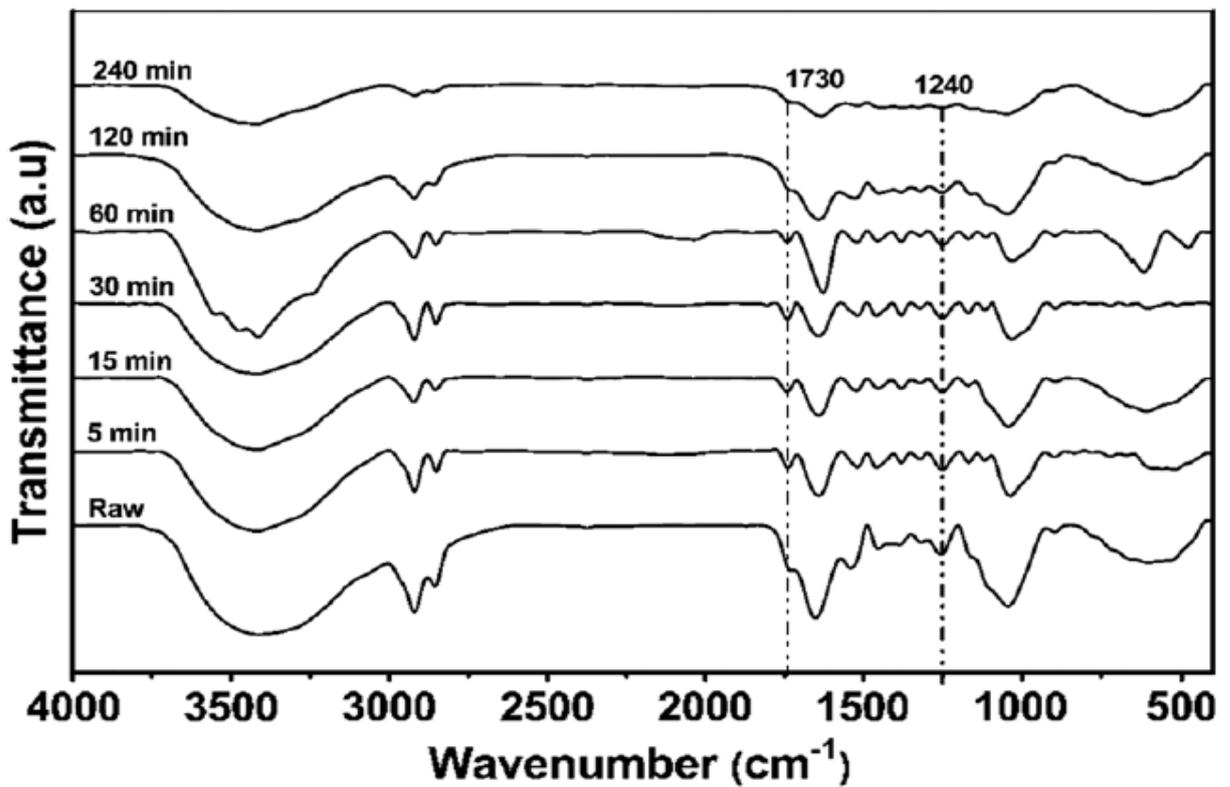


Figure 2-40: Spectres FTIR de fibres Alfa non traitées et traitées par hydrothermie[201].

2.4.1.3 Traitement chimique :

Différentes méthodes de prétraitement chimique ont été mises en œuvre pour améliorer les propriétés de surface de la fibre végétale, tel que :

- Traitement par acétylation.
- Traitement alcalin.
- Traitement benzylation.
- Traitement au peroxyde.
- Traitement au silicium.

La technique la plus utilisée est le traitement alcalin, en raison de son rapport coût-efficacité [204].

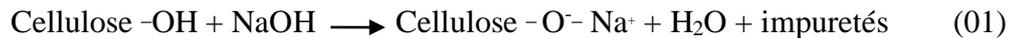
2.4.1.3.1 Traitement alcalin :

Le processus d'alcalinisation affecte les fibres naturelles et apporte une nette performance vis à vis la qualité de l'adhérence fibre-matrice. Ce traitement augmente la surface de contact fibre/résine. Certains auteurs préconisent que cette amélioration est due à l'élimination des composés non cellulosiques (couches cuticules cireuses, huiles et impuretés) de la surface. Ainsi, il conduit à une amélioration de la liaison inter-faciale entre la fibre et la matrice [110], [190]. Le traitement alcalin est souvent pratiqué pour extraire la lignine résiduelle, l'hémicellulose, et à éliminer les impuretés naturelles et artificielles. Il permet aussi de promouvoir la fibrillation des faisceaux [205]. La concentration de l'alcali, la température et le temps de traitement des fibres sont des paramètres essentiels du processus de traitement. L'optimisation de ces paramètres contribue à l'amélioration des propriétés mécaniques du matériau composite [206]. En revanche, le traitement alcalin peut avoir un effet néfaste sur les fibres végétales. Par conséquent, il y a des risques d'endommagement des fibres une fois que les conditions de traitement ne sont pas optimisées [207].

2.4.1.3.2 Effet chimique du traitement alcalin sur la morphologie de la fibre :

Le traitement alcalin est l'une des méthodes chimiques les plus utilisées pour modifier la structure moléculaire cellulosique de la fibre végétale, lorsqu'elle est utilisée pour renforcer les thermoplastiques et les thermodurcissables. Ce traitement, généralement effectué dans une solution aqueuse de (NaOH), perturbe les amas des fibres et forme des amorphes au détriment de la cellulose cristalline hautement compactée. La modification importante qui se produit est la rupture de la liaison hydrogène dans la structure du réseau. Au cours du traitement, les

groupes hydroxyle(OH) sont décomposés, et réagissent ainsi avec l'eau (H₂O) laissant les molécules réactives ionisées pour former un alkoxyde avec (NaOH) [208].



En conséquence, les groupes OH hydrophiles sont réduits et la rugosité de la surface de la fibre est augmentée. Il élimine également une certaine de l'hémicellulose, de la lignine, des cires et des huiles qui recouvrent la fibre[208].

2.4.1.3.3 Les procédures de traitement alcaline :

Plusieurs études ont été réalisées pour étudier l'efficacité des fibres traitées aux alcalis dans différentes applications. Sawsen et al.[199] ont traité des fibres de lin avec une solution de NaOH à 6 % en poids pendant 48 heures. Le diamètre de la fibre traitée a été réduit et sa densité a été augmentée en raison de l'élimination des composés polymères existants à la surface de la fibre. De même, Manalo et al.[209] ont rapporté le traitement de fibres de Bambo à différentes concentrations (4%, 6% et 8% par volume) pendant 3 h à température ambiante. Il a été trouvé que 6% est la concentration requise pour améliorer les propriétés mécaniques du composite. Hashim et al.[210] ont étudié le traitement de la fibre de kenaf sous diverses conditions expérimentales (2, 6 et 10%) pendant (30, 240 et 480 min) à (27, 60 et 100C). Les auteurs ont remarqué une diminution du diamètre de la fibre, une légère augmentation de la perte de poids et une diminution de la taille de la fibre et une augmentation de l'humidité des fibres lorsque la concentration de NaOH et le temps de traitement augmentent.

Selon S.Ajouguim et al.[201] le traitement alcalin optimal pour les fibres d'alfa commence par l'immersion des fibres dans une solution d'hydroxyde de sodium à une concentration de 6 % en poids, pendant 6 h. Ensuite, les fibres ont été rincées une première fois avec une solution d'eau contenant des gouttes d'acide acétique (1 % en poids), afin de neutraliser l'excès d'hydroxyde de sodium. Dans un deuxième temps les fibres traitées ont été rincées à l'eau distillée, puis placées dans une étuve à 60 C pendant 48 heures.

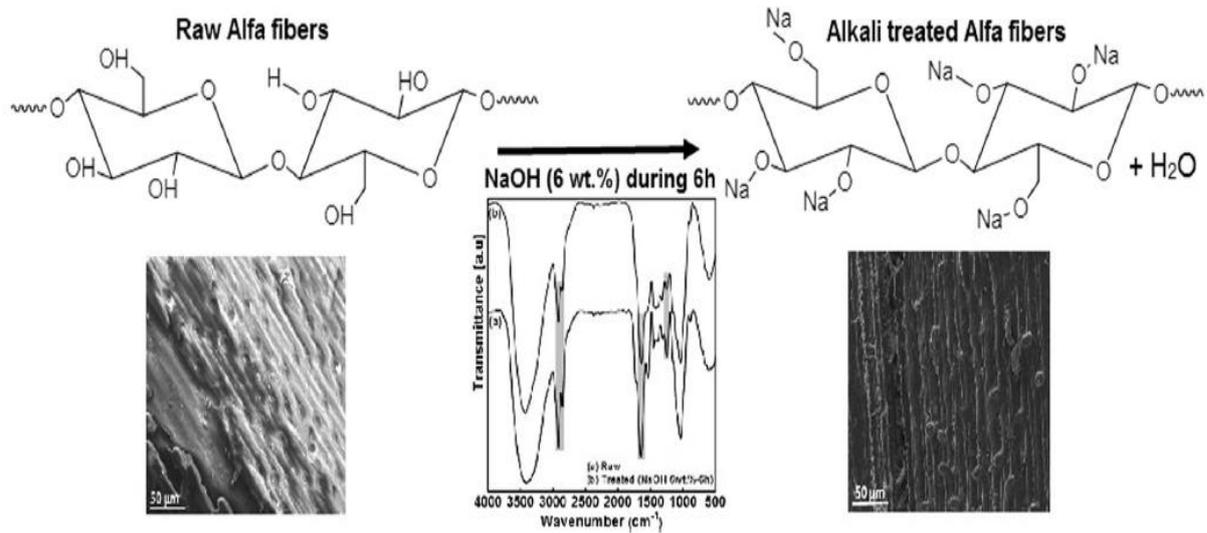


Figure 2-41: Image MEB de traitement chimique des fibres d'alfa avant et après 6h de traitement dans une solution de 6% NaOH[201].

2.4.2 Conclusion :

Les FBR peuvent être obtenus à partir de briques usagées par des processus de traitement simples tels que le concassage, le broyage et le criblage. Sur la base des propriétés physiques et chimiques de la FBR, elle peut être considérée comme un matériau pouzzolanique potentiel qui peut remplacer partiellement le ciment utilisé dans les matériaux cimentaires. Les propriétés à l'état frais des composites cimentaires contenant du FBR sont affectées par la taille des particules et la teneur en FBR. L'augmentation de la teneur ou de la finesse de FBR réduit l'ouvrabilité des composites à base de ciment, ce qui est dû à l'absorption élevée d'eau du FBR. Le temps de prise des composites à base de ciment peut être retardé en exerçant l'effet de dilution/nucléation de FBR. Les propriétés mécaniques des matériaux cimentaires peuvent être améliorées par l'ajout d'une quantité appropriée de FBR. Toutefois, si la quantité de FBR est trop importante, les propriétés mécaniques des matériaux cimentaires diminuent. Sur la base des résultats des recherches existantes, le niveau optimal de substitution du ciment par la FBR se situe entre 5 et 15 %. En ce qui concerne la durabilité des composites à base de ciment, les chercheurs n'ont pas tous suggéré que l'ajout de FBR aux matériaux à base de ciment soit nécessaire. Ceci est dû aux différentes conditions des matières premières, des processus de mélange et des et des systèmes de durcissement dans les différentes études. Par conséquent, la durabilité des composites à base de ciment contenant de FBR reste à être étudiée plus avant. Le remplacement d'une partie du ciment par une grande proportion de FBR augmente la porosité totale des matériaux cimentaires en raison de l'effet de dilution du FBR, ce qui entraîne une réduction de la quantité totale de produits

d'hydratation. L'utilisation de la FBR en tant que matériau pouzzolanique fournit une solution réalisable pour résoudre plusieurs problèmes, tels que les problèmes d'environnement, de santé et de sécurité.

Sur la base des documents examinés sur l'influence des fibres végétales sur les matrices cimentaire, la conclusion peut être résumée comme suit :

-Le comportement mécanique de la fibre végétale a montré une marge importante entre les valeurs inférieures et supérieures en raison de la variété de leurs composants chimiques.

-La molécule de cellulose régit le comportement global de la fibre. Cela est dû à la structure cristalline de la fibre par rapport à la structure amorphe de l'hémicellulose et de la lignine.

-Le taux d'humidité de la fibre végétale augmente jusqu'à 17% en fonction du temps, peut atteindre une valeur de 400 %.

-L'ajout de la fibre végétale a un effet négatif sur les propriétés rhéologique et de durcissement des matériaux à base de ciment.

-La fluidité du mortier frais renforcé diminue avec l'augmentation correspondante des fibres. Ceci peut être attribué à la nature hydrophile de la fibre végétale. Néanmoins, il donne de meilleurs résultats lorsqu'on adopte un tel processus de mélange dans lequel les fibres sont ajoutées au mélange.

- La résistance à la compression des matériaux cimentaires diminue en raison de la faible densité des fibres appliquées.

-En termes de résistance à la flexion, l'utilisation de la fibre végétale en tant que matériau de renforcement a montré une diminution de la résistance à la flexion.

Ces fibres peuvent être utilisées dans la pratique de la construction pour, entre autres, des éléments de construction non structuraux.

Cependant, comme le montre la littérature, Les traitements de surface adoptée pour les fibres, pourraient apporter une amélioration significative.

Le traitement alcalin (6%NaOH) pendant 6 h et le traitement hydrothermique pendant 1 h ont été les plus favorables. Car ils ont conduit à l'élimination de la matière organique,

l'augmentation de la rugosité et l'indice de cristallinité sans causer de problèmes de dégradation.

Les deux types de traitements des fibres Alfa améliorent leurs propriétés, ce qui les rend aptes à être utilisées comme renforcement de la matrice cimentaire notamment par l'élimination de la partie amorphe.

Le Tableau 2-6, présente l'effet de la substitution de ciment par des fines de brique recyclé et l'influence de l'ajout des fibres végétales sur quelques paramètres de performance et de durabilité des mortiers et bétons.

Tableau 2-6: Effet des fibres végétales et des FBR sur la performance des mortiers et bétons

Paramètre des mortiers et bétons	Fines de brique	fibre végétale
Densité	Pas de changement	Diminue
Temps de prise	Augmente	Pas de changement
Ouvrabilité	Diminue	Diminue
Résistance à la compression	Diminue	Augmente/Diminue
Résistance à la flexion	pas d'effet significatif	Augmente
Retrait total	Diminue	/
Absorption d'eau par capillarité	Diminue	sec: Pas de changement significatif traité: Diminue
Porosité	Diminution des macropores et augmentation des micropores	Augmente
Conductivité thermique	/	Diminue
Cisaillement oblique	/	Augmente
la résistance à la carbonatation	Augmente	/
la perméabilité aux ions chlores	Diminue	/
gel-dégel	Diminue	/

Références bibliographiques

- [1] N. KHAL, "Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement agressif," *Fac. DU GÉNIE LA Constr. DÉPARTEMENT GÉNIE Civ. Lab. Rech. GÉOMATERIAUX, Environ. AMÉNAGEMENT*, 2016.
- [2] J. A. Zeid, "Méthodes De Réparation Et De Protection Des Ouvrages En Béton Armé," no. April, 2016.
- [3] A. Soufi, "Etude de la durabilité des systèmes béton armé : mortiers de réparation en milieu marin Abderrahmane Soufi To cite this version : HAL Id : tel-01067496," 2014.
- [4] L. Courard, "Réparation des ouvrages en béton armé - Partie 1 : Pathologies et diagnostic," 2016, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2268/199434>.
- [5] M.H.R Khudhair., M.S. Elyoubi, A. Elharf, "Formulation and characterization of a new ecological cementitious material at base of different percentage of limestone fillers: Study of physical -chemical and mechanical properties," *Mater. Environ. Sci.*, vol. 8, pp. 3973–3985, 2017.
- [6] F. M. Shahrabadi , H.S. Nikoo, "Effect of limestone on the mechanical properties of concrete containing silica fume and fly ash," *Mater. Environ. Sci.*, vol. 8, pp. 457–466, 2017.
- [7] E. Navrátilová and P. Rovnaníková, "Pozzolanic properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 120, pp. 530–539, 2016.
- [8] F. Bektas, K. Wang, and H. Ceylan, "Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1909–1914, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.006.
- [9] J. P. Gonçalves, L. M. Tavares, R. D. Toledo Filho, and E. M. R. Fairbairn, "Performance evaluation of cement mortars modified with metakaolin or ground brick," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1971–1979, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.027.
- [10] A. Achour, "Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles : valorisation des plantes locales," p. 116, 2017.
- [11] Ait.si youcef sihem. Karab Chayma, "pathologie des batiments," vol. 2019.
- [12] A. Si, Y. Siham, and K. Chayma, "Pathologie des bâtiments," 2019.
- [13] A.HAMAMI, "durabilité des structures en beton arme," *Univ. la rochelle*.
- [14] "Norme Européenne EN 1504 Guide illustré et simplifié concernant tous les aspects de la réparation des structures en béton," 2014.
- [15] A. R. G. Taché, "Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion," 2003.
- [16] H. hadidane and D. djeghader, "pathologies des ouvrages en betons," 2008.
- [17] C. Leroy, "Guide béton," [Online]. Available: Guidebeton.com.
- [18] "Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion document scientifique et technique de l'AFGC," 2003.
- [19] M. LAKHALRidha, "restauration des patrimoines(Cours: pathologie des bétons armés-corrosion.)"
- [20] J. Abou Zeid, "Méthodes de réparation et de protection des ouvrages en béton armé."
- [21] I. boyengo Jonathan, "Utilisation de l'ultrason dans les milieux agressifs pour les éléments en béton armés," *Cent. Univ. Belhadj Bouchaib - Ain Témouchent*, 2016.
- [22] T. S. NDZANA AKONGO Grégoire, "Réhabilitation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures," *DIPET2 (Diplôme des Professeurs des lycées d'Enseignement Tech. 2ème grade), Génie Civil, Option Bâtiment Travaux, Univ. Douala (Ecole Norm. Supérieure l'Enseignement*

- Tech. ENSET.*
- [23] N. akongo gregoire & tchoumi samuel, “rehabilitation des ouvrages en beton arme degrades par la corrosion des armatures,” *Univ. douala ENSET*, 2007.
- [24] “CHOIX ET APPLICATION DES PRODUITS DE RÉPARATION ET DE PROTECTION DES OUVRAGES EN BÉTON,” 1996.
- [25] urban design workshop, “travaux de réhabilitation du parc immobilier de la wilaya d’Alger.”
- [26] A. Akhtar and A. K. Sarmah, “Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective,” *J. Clean. Prod.*, vol. 186, pp. 262–281, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.085.
- [27] J. Xiao, Z. Ma, T. Sui, A. Akbarnezhad, and Z. Duan, “Mechanical properties of concrete mixed with recycled powder produced from construction and demolition waste,” *J. Clean. Prod.*, vol. 188, pp. 720–731, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.277.
- [28] Q. Tang, Z. Ma, H. Wu, and W. Wang, “The utilization of eco-friendly recycled powder from concrete and brick waste in new concrete: A critical review,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 114, 2020, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103807.
- [29] K. Yahya and H. Boussabaine, “Quantifying environmental impacts and eco-costs from brick waste,” *Archit. Eng. Des. Manag.*, vol. 6, no. 3, pp. 189–206, 2010, doi: 10.3763/aedm.2009.0106.
- [30] C. L. Wong, K. H. Mo, S. P. Yap, U. J. Alengaram, and T. C. Ling, “Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 195, pp. 226–239, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.193.
- [31] A. Al-Fakih, B. S. Mohammed, M. S. Liew, and E. Nikbakht, “Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review,” *J. Build. Eng.*, vol. 21, pp. 37–54, 2019, doi: 10.1016/j.job.2018.09.023.
- [32] F. Debieb and S. Kenai, “The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 5, pp. 886–893, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.12.013.
- [33] ADEME, “Étude sur le prix d’élimination des déchets inertes du BTP – ADEME,” *Agence l’Environnement la Maîtrise l’Energie*, 2012, [Online]. Available: <https://www.ademe.fr/etude-prix-delimitation-dechets-inertes-btp>.
- [34] O. Buchsenschutz, “Fabrication de la céramique,” *des Gaulois aux Gall.*, pp. 149–159.
- [35] L. Alviset, “Matériaux de terre cuite,” *Tech. l’ingénieur*, vol. C905-1, p. 28, 1994.
- [36] Z. He *et al.*, “Research progress on recycled clay brick waste as an alternative to cement for sustainable construction materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 274, p. 122113, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122113.
- [37] I. Irki, F. Debieb, S. Ouzadid, H. L. Dilmi, C. Settari, and D. Boukhelkhel, “Effect of Blaine fineness of recycling brick powder replacing cementitious materials in self compacting mortar,” *J. Adhes. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 9, pp. 963–975, 2018, doi: 10.1080/01694243.2017.1393202.
- [38] Astm, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use,” *Annu. B. ASTM Stand.*, no. C, pp. 3–6, 2010.
- [39] C. L. Hwang, M. Dامتie Yehualaw, D. H. Vo, and T. P. Huynh, “Development of high-strength alkali-activated pastes containing high volumes of waste brick and ceramic powders,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 218, pp. 519–529, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.143.
- [40] J. Fořt *et al.*, “Application of waste brick powder in alkali activated aluminosilicates: Functional and environmental aspects,” *J. Clean. Prod.*, vol. 194, pp. 714–725, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.181.

- [41] M. Tuyan, Ö. Andiç-Çakir, and K. Ramyar, "Effect of alkali activator concentration and curing condition on strength and microstructure of waste clay brick powder-based geopolymer," *Compos. Part B Eng.*, vol. 135, pp. 242–252, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.10.013.
- [42] S. Li *et al.*, "Experimental study on the preparation of recycled admixtures by using construction and demolition waste," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 10, 2019, doi: 10.3390/MA12101678.
- [43] A. Schackow, D. Stringari, L. Senff, S. L. Correia, and A. M. Segadães, "Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 62, pp. 82–89, 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.04.019.
- [44] V. Letelier, J. M. Ortega, P. Muñoz, E. Tarela, and G. Moriconi, "Influence of Waste brick powder in the mechanical properties of recycled aggregate concrete," *Sustain.*, vol. 10, no. 4, 2018, doi: 10.3390/su10041037.
- [45] D. György *et al.*, "Influence of water to binder ratio on mechanical properties of blended cements with brick powder waste," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2129, 2019, doi: 10.1063/1.5118099.
- [46] S. Wild, A. Gailius, H. Hansen, L. Pederson, and J. Szwabowski, "Pozzolanic properties of a variety of European clay bricks: Comparative study of pozzolanic, chemical and physical properties of clay bricks in four European countries for utilization of pulverized waste clay brick in production of mortar and concrete," *Build. Res. Inf.*, vol. 25, no. 3, pp. 170–175, 1997, doi: 10.1080/096132197370435.
- [47] L. Reig, M. M. Tashima, M. V. Borrachero, J. Monzó, C. R. Cheeseman, and J. Payá, "Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 43, pp. 98–106, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.01.031.
- [48] C. Xue, A. Shen, Y. Guo, C. Wan, and X. Zhao, "Activity of construction waste brick powder under alkali and compound modifications," *Cailiao Daobao/Materials Rev.*, vol. 30, no. 5, pp. 130–134, 2016, doi: 10.11896/j.issn.1005-023X.2016.10.029.
- [49] L. A. Pereira-De-Oliveira, J. P. Castro-Gomes, and P. M. S. Santos, "The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components," *Constr. Build. Mater.*, vol. 31, pp. 197–203, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.110.
- [50] B. Lothenbach, F. Winnefeld, C. Alder, E. Wieland, and P. Lunk, "Effect of temperature on the pore solution, microstructure and hydration products of Portland cement pastes," *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 4, pp. 483–491, 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2006.11.016.
- [51] E. Navrátilová and P. Rovnaníková, "Pozzolanic properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 120, pp. 530–539, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.062.
- [52] Y. Zhao, J. Gao, C. Liu, X. Chen, and Z. Xu, "The particle-size effect of waste clay brick powder on its pozzolanic activity and properties of blended cement," *J. Clean. Prod.*, vol. 242, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118521.
- [53] L. Reig, M. M. Tashima, L. Soriano, M. V. Borrachero, J. Monzó, and J. Payá, "Alkaline activation of ceramic waste materials," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 4, no. 4, pp. 729–736, 2013, doi: 10.1007/s12649-013-9197-z.
- [54] Z. Ge, Z. Gao, R. Sun, and L. Zheng, "Mix design of concrete with recycled clay-brick-powder using the orthogonal design method," *Constr. Build. Mater.*, vol. 31, pp. 289–293, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.01.002.
- [55] K. Afshinnia and A. Poursae, "The potential of ground clay brick to mitigate Alkali-Silica Reaction in mortar prepared with highly reactive aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 95, pp. 164–170, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.155.
- [56] O. M. Olofinnade, A. N. Ede, J. M. Ndambuki, and G. O. Bamigboye, "Structural properties of concrete containing ground waste clay brick powder as partial substitute for cement," *Mater. Sci. Forum*, vol. 866, pp. 63–67, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.866.63.

- [57] A. Naceri and M. C. Hamina, "Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 8, pp. 2378–2384, 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2009.03.026.
- [58] R. D. Toledo Filho, J. P. Gonçalves, B. B. Americano, and E. M. R. Fairbairn, "Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil," *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 9, pp. 1357–1365, 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.06.005.
- [59] M. S. Kırgız, "Fresh and hardened properties of green binder concrete containing marble powder and brick powder," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 20, pp. s64–s101, 2016, doi: 10.1080/19648189.2016.1246692.
- [60] Q. Huang, X. Zhu, G. Xiong, C. Wang, D. Liu, and L. Zhao, "Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation," *Constr. Build. Mater.*, vol. 274, p. 122068, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122068.
- [61] J. M. Khatib, "Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate," *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, no. 4, pp. 763–769, 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.06.017.
- [62] Dr. M. Usha Rani and J. Martina Jenifer, "Mechanical Properties of Concrete with Partial Replacement of Portland Cement by Clay Brick Powder," *Int. J. Eng. Res.*, vol. V5, no. 02, pp. 63–67, 2016, doi: 10.17577/ijertv5is020044.
- [63] Z. Duan, S. Hou, J. Xiao, and B. Li, "Study on the essential properties of recycled powders from construction and demolition waste," *J. Clean. Prod.*, vol. 253, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119865.
- [64] L. Zheng, Z. Ge, Z. Yao, R. Sun, and J. Dong, "The properties of concrete with recycled clay-brick-powder," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 99–100, pp. 826–831, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.99-100.826.
- [65] Z. Ma, Q. Tang, H. Wu, J. Xu, and C. Liang, "Mechanical properties and water absorption of cement composites with various fineness and contents of waste brick powder from C&D waste," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 114, no. July, p. 103758, 2020, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103758.
- [66] J. D. Wu, L. P. Guo, and Y. Y. Qin, "Preparation and characterization of ultra-high-strength and ultra-high-ductility cementitious composites incorporating waste clay brick powder," *J. Clean. Prod.*, vol. 312, no. June, p. 127813, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127813.
- [67] A. Schackow, D. Stringari, L. Senff, S. L. Correia, and A. M. Segadães, "Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 62, pp. 82–89, 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.04.019.
- [68] J. M. Ortega, V. Letelier, C. Solas, G. Moriconi, M. Á. Climent, and I. Sánchez, "Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 182, pp. 691–702, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.161.
- [69] Z. Ge, Y. Feng, H. Zhang, J. Xiao, R. Sun, and X. Liu, "Use of recycled fine clay brick aggregate as internal curing agent for low water to cement ratio mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 264, p. 120280, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120280.
- [70] G. G. Litvan and P. J. Sereda, "Particulate admixture for enhanced freeze-thaw resistance of concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 53–60, 1978, doi: 10.1016/0008-8846(78)90057-1.
- [71] Z. Ge, Y. Wang, R. Sun, X. Wu, and Y. Guan, "Influence of ground waste clay brick on properties of fresh and hardened concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 128–136, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.100.
- [72] H. Binici, S. Kapur, J. Arocena, and H. Kaplan, "The sulphate resistance of cements containing red brick dust and ground basaltic pumice with sub-microscopic evidence of intra-pore gypsum and ettringite as strengtheners," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, no. 2, pp. 279–287, 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.10.001.
- [73] Z. He *et al.*, "Cement-based materials modified with superabsorbent polymers: A review," *Constr. Build.*

- Mater.*, vol. 225, pp. 569–590, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.139.
- [74] P. Wambua, J. Ivens, and I. Verpoest, “Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 9, pp. 1259–1264, 2003, doi: 10.1016/S0266-3538(03)00096-4.
- [75] A. Bourmaud and C. Baley, “Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 94, no. 3, pp. 297–305, 2009, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2008.12.010.
- [76] C. Juárez, B. Guevara, P. Valdez, and A. Durán-Herrera, “Mechanical properties of natural fibers reinforced sustainable masonry,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 8, pp. 1536–1541, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.007.
- [77] M. H. Baghban and R. Mahjoub, “Natural kenaf fiber and LC3 binder for sustainable fiber-reinforced cementitious composite: A review,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.3390/app10010357.
- [78] R. Hamzaoui, S. Guessasma, B. Mecheri, A. M. Eshtiaghi, and A. Bennabi, “Microstructure and mechanical performance of modified mortar using hemp fibres and carbon nanotubes,” *Mater. Des.*, vol. 56, pp. 60–68, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.10.084.
- [79] S. Yin, R. Tuladhar, F. Shi, M. Combe, T. Collister, and N. Sivakugan, “Use of macro plastic fibres in concrete: A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 93, pp. 180–188, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.105.
- [80] H. R. Pakravan and T. Ozbakkaloglu, “Synthetic fibers for cementitious composites: A critical and in-depth review of recent advances,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 207, pp. 491–518, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.078.
- [81] J. P. Won, C. G. Park, S. J. Lee, and J. W. Kang, “Bonding characteristics of recycled polyethylene terephthalate (PET) fibers coated with maleic anhydride grafted polypropylene in cement-based composites,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 121, no. 4, pp. 1908–1915, 2011, doi: 10.1002/app.33747.
- [82] C. G. Park and J. H. Lee, “Effect of styrene butadiene latex polymer contents on the bond properties of macro polypropylene fiber in polymer-modified cement-based composites,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 126, no. SUPPL. 2, 2012, doi: 10.1002/app.36909.
- [83] E. Galicia-Aldama, M. Mayorga, J. C. Arteaga-Arcos, and L. Romero-Salazar, “Rheological behaviour of cement paste added with natural fibres,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 198, pp. 148–157, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.179.
- [84] B. Çomak, A. Bideci, and Ö. Salli Bideci, “Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 169, pp. 794–799, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.029.
- [85] J. Claramunt, M. Ardanuy, J. A. García-Hortal, and R. D. T. Filho, “The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 33, no. 5, pp. 586–595, 2011, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.03.003.
- [86] M. Dallel, “Evaluation du potentiel textile des fibres d’Alfa,” *Stipa Tenacissima*, 2012.
- [87] M. A. Mogni, “Fractionnement Des Complexes Ligninespolysaccharides Issus De Differentes Biomasses Lignocellulosiques Par Extrusion Bi-Vis Et Separation Chromatographique,” pp. 1–308, 2015.
- [88] A. K. Bledzki and J. Gassan, “Composites reinforced with cellulose based fibres,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 24, no. 2, pp. 221–274, 1999, doi: 10.1016/S0079-6700(98)00018-5.
- [89] M. R. KHELIFA, “Formulation et caractérisation d’éco-bétons renforcés aux fibres d’alfa pour des bâtiments verts et durables Soutenue,” p. 198, 2017.
- [90] O. Benaïmeche, A. Carpinteri, M. Mellas, C. Ronchei, D. Scorza, and S. Vantadori, “The influence of date palm mesh fibre reinforcement on flexural and fracture behaviour of a cement-based mortar,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 152, pp. 292–299, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.07.017.

- [91] A. A. Belkadi, S. Aggoun, C. Amouri, A. Geuttala, and H. Houari, "Effect of vegetable and synthetic fibers on mechanical performance and durability of Metakaolin-based mortars," *J. Adhes. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 15, pp. 1670–1686, 2018, doi: 10.1080/01694243.2018.1442647.
- [92] I. S. F. Mendes and D. V. Evtuguin, "Production of rayon fibres from cellulosic pulps: state of the art and current developments," *Carbohydr. Polym.*, p. 118466, 2021, doi: 10.1016/j.carbpol.2021.118466.
- [93] V. M. John, M. A. Cincotto, C. Sjöström, V. Agopyan, and C. T. A. Oliveira, "Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 5, pp. 565–574, 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2004.09.007.
- [94] D. B. Dittenber and H. V. S. Gangarao, "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 1419–1429, 2012, doi: 10.1016/j.compositesa.2011.11.019.
- [95] A. Kriker, G. Debicki, A. Bali, M. M. Khenfer, and M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 5, pp. 554–564, 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2004.09.015.
- [96] R. D. Cortina J, Maestre FT, "Innovations in semiarid land restoration. The case of *Stipa tenacissima* L. steppes. In: Bautista S, Aronson RJ, Vallejo R (eds) Land Restoration to Combat Desertification Innovative Approaches, Quality Control and Project Evaluation Fundación CEAM, Valenc," 2009.
- [97] J. Marion, "L'alfa, matière première pour l'industrie pamière. Revue Forestière Française."
- [98] K. N. Réquier-Desjardins M, Jauffret S, "Chapitre 4-Lutter contre la désertification. MediTERRA 2009:," *Press. Sci. Po (PFNSP);*, 2009.
- [99] T. Bousmaha, "Contribution à l'étude de l'évolution de la nappe alfatière dans la mise en défens de Nofikha (Naâma)," *Univ. Aboubekr Belkaid – Tlemcen;*, p. 87, 2012.
- [100] J. Cortina, N. Martín, F. T. Maestre, and S. Bautista, "Disturbance of the biological soil crusts and performance of *Stipa tenacissima* in a semi-arid Mediterranean steppe," *Plant Soil*, vol. 334, no. 1, pp. 311–322, 2010, doi: 10.1007/s11104-010-0384-4.
- [101] J. Kaouther and M. Chaieb, "The effect of *Stipa tenacissima* tussocks on some soil surface properties under arid bioclimate in the southern Tunisia," *Acta Bot. Gall.*, vol. 156, no. 2, pp. 173–181, 2009, doi: 10.1080/12538078.2009.10516149.
- [102] F. I. Pugnaire, P. Haase, L. D. Incoll, and S. C. Clark, "Response of the Tussock Grass *Stipa tenacissima* to Watering in a Semi-Arid Environment," *Funct. Ecol.*, vol. 10, no. 2, p. 265, 1996, doi: 10.2307/2389852.
- [103] S. Belkhir, A. Koubaa, A. Khadhri, M. Ksontini, and S. Smiti, "Variations in the morphological characteristics of *Stipa tenacissima* fiber: The case of Tunisia," *Ind. Crops Prod.*, vol. 37, no. 1, pp. 200–206, 2012, doi: 10.1016/j.indcrop.2011.11.021.
- [104] P. Boudy, "Guide du forestier en Afrique du Nord," *Ed. La maison Rustique. Paris*, pp. 185–194, 1952.
- [105] B. L. L. Brunet P, "Bibliothèque de travail," *L'imprimerie à l'école*.
- [106] F. E. El-Abbassi, M. Assarar, R. Ayad, A. Bourmaud, and C. Baley, "A review on alfa fibre (*Stipa tenacissima* L.): From the plant architecture to the reinforcement of polymer composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 128, 2020, doi: 10.1016/j.compositesa.2019.105677.
- [107] D. Athith *et al.*, "Effect of tungsten carbide on mechanical and tribological properties of jute/sisal/E-glass fabrics reinforced natural rubber/epoxy composites," *J. Ind. Text.*, vol. 48, no. 4, pp. 713–737, 2018, doi: 10.1177/1528083717740765.
- [108] M. P. Manimaran, P. Senthamaraiannan, M.R. Sanjay, M.K. Marichelvam and Jawaid, "Carbohydr. Polym.," pp. 650–658, 2017.
- [109] R. Mahjoub, J. M. Yatim, A. R. Mohd Sam, and S. H. Hashemi, "Tensile properties of kenaf fiber due to

- various conditions of chemical fiber surface modifications,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 55, pp. 103–113, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.036.
- [110] V. A. Alvarez and A. Vázquez, “Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 37, no. 10, pp. 1672–1680, 2006, doi: 10.1016/j.compositesa.2005.10.005.
- [111] M. G. Aruan Efendy and K. L. Pickering, “Comparison of harakeke with hemp fibre as a potential reinforcement in composites,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 67, pp. 259–267, 2014, doi: 10.1016/j.compositesa.2014.08.023.
- [112] H. M. Algin and P. Turgut, “Cotton and limestone powder wastes as brick material,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 6, pp. 1074–1080, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.03.006.
- [113] S. Fertikh, M. Merzoud, F. M. Habita, and A. Benazzouk, “Comportement mécanique et hydrique des composites à matrice cimentaire et argileuse à base de diss « *Ampelodesma mauritanica* »,” *XXIXe Rencontres Univ. Génie Civil. Tlemcen*, pp. 188–196, 2011.
- [114] A. Ledhem, R. M. Dheilily, M. L. Benmalek, and M. Quéneudec, “Properties of wood-based composites formulated with aggregate industry waste,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 14, no. 6–7, pp. 341–350, 2000, doi: 10.1016/S0950-0618(00)00037-4.
- [115] S. Ajouguim, J. Page, C. Djelal, M. Waqif, and L. Saâdi, “Impact of Alfa fibers morphology on hydration kinetics and mechanical properties of cement mortars,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 293, p. 123514, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123514.
- [116] E. Quagliarini and S. Lenci, “The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks,” *J. Cult. Herit.*, vol. 11, no. 3, pp. 309–314, 2010, doi: 10.1016/j.culher.2009.11.012.
- [117] G. L. Sivakumar Babu and A. K. Vasudevan, “Strength and Stiffness Response of Coir Fiber-Reinforced Tropical Soil,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 9, pp. 571–577, 2008, doi: 10.1061/(asce)0899-1561(2008)20:9(571).
- [118] C. A. S. Hill, H. P. S. A. Khalil, and M. D. Hale, “A study of the potential of acetylation to improve the properties of plant fibres,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 8, no. 1, pp. 53–63, 1998, doi: 10.1016/S0926-6690(97)10012-7.
- [119] T. Sen and H. N. J. Reddy, “Application of Sisal , Bamboo , Coir and Jute Natural Composites in Structural Upgradation,” *Int. J. Innov. Maagement Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 186–191, 2011.
- [120] J. C. Flament, “Valorisation de fines de lavage de granulats: application à la construction en terre crue,” 2013.
- [121] H. R. Kymäläinen and A. M. Sjöberg, “Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations,” *Build. Environ.*, vol. 43, no. 7, pp. 1261–1269, 2008, doi: 10.1016/j.buildenv.2007.03.006.
- [122] S. Ajouguim *et al.*, “Effect of Alfa fibers on the mechanical and thermal properties of compacted earth bricks,” *Mater. Today Proc.*, vol. 37, pp. 4049–4057, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.539.
- [123] B. W. Jo, S. Chakraborty, and H. Kim, “Efficacy of alkali-treated jute as fibre reinforcement in enhancing the mechanical properties of cement mortar,” *Mater. Struct. Constr.*, vol. 49, no. 3, pp. 1093–1104, 2016, doi: 10.1617/s11527-015-0560-3.
- [124] S. Chakraborty, S. P. Kundu, A. Roy, R. K. Basak, B. Adhikari, and S. B. Majumder, “Improvement of the mechanical properties of jute fibre reinforced cement mortar: A statistical approach,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 38, pp. 776–784, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.09.067.
- [125] D. Taoukil, A. El Bouardi, F. Sick, A. Mimet, H. Ezbakhe, and T. Ajzoul, “Moisture content influence on the thermal conductivity and diffusivity of wood-concrete composite,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 48, pp. 104–115, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.067.
- [126] W. Si, M. Cao, and J. Feng, “Advances in Research on Flowability and Rheological Properties of Fiber

- Reinforced Cementitious Composites,” *Cailiao Daobao/Materials Rev.*, vol. 33, no. 3, pp. 819–825, 2019, doi: 10.11896/cldb.201905014.
- [127] L. Martinie, P. Rossi, and N. Roussel, “Rheology of fiber reinforced cementitious materials: classification and prediction,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 40, no. 2, pp. 226–234, 2010, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.08.032.
- [128] P. F. G. Banfill, G. Starrs, G. Derruau, W. J. McCarter, and T. M. Chrisp, “Rheology of low carbon fibre content reinforced cement mortar,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 28, no. 9, pp. 773–780, 2006, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2006.06.004.
- [129] K. G. Kuder, N. Ozyurt, E. B. Mu, and S. P. Shah, “Rheology of fiber-reinforced cementitious materials,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 2, pp. 191–199, 2007, doi: 10.1016/j.cemconres.2006.10.015.
- [130] M. Cao, L. Li, and L. Xu, “Relations between rheological and mechanical properties of fiber reinforced mortar,” *Comput. Concr.*, vol. 20, no. 4, pp. 449–459, 2017, doi: 10.12989/cac.2017.20.4.449.
- [131] A. D. De Figueiredo and M. R. Ceccato, “Workability analysis of steel fiber reinforced concrete using slump and ve-be test,” *Mater. Res.*, vol. 18, no. 6, pp. 1284–1290, 2015, doi: 10.1590/1516-1439.022915.
- [132] G. Centonze, M. Leone, F. Micelli, D. Colonna, and M. A. Aiello, “Concrete reinforced with recycled steel fibers from end of life tires: Mix-design and application,” *Key Eng. Mater.*, vol. 711, pp. 224–231, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.711.224.
- [133] A. S. El-Dieb and M. M. Reda Taha, “Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC),” *Constr. Build. Mater.*, vol. 27, no. 1, pp. 585–596, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.07.004.
- [134] H. Mazaheripour, S. Ghanbarpour, S. H. Mirmoradi, and I. Hosseinpour, “The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 1, pp. 351–358, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.06.018.
- [135] A. A. Shah and Y. Ribakov, “Recent trends in steel fibered high-strength concrete,” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 8–9, pp. 4122–4151, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2011.03.030.
- [136] S. Iqbal, A. Ali, K. Holschemacher, and T. A. Bier, “Effect of Change in Micro Steel Fiber Content on Properties of High Strength Steel Fiber Reinforced Lightweight Self-Compacting Concrete (HSLSCC),” *Procedia Eng.*, vol. 122, pp. 88–94, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.011.
- [137] R. G. Chandrasekaran and G. Ramakrishna, “Experimental investigation on mechanical properties of economical local natural fibre reinforced cement mortar,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 3–8, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.908.
- [138] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 83, pp. 98–112, 2016, doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.038.
- [139] N. Saba, M. T. Paridah, and M. Jawaid, “Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 76, pp. 87–96, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043.
- [140] M. Bhuvaneshwaran, P. S. Sampath, and S. Sagadevan, “Influence of fiber length, fiber content and alkali treatment on mechanical properties of natural fiber-reinforced epoxy composites,” *Polimery/Polymers*, vol. 64, no. 2, pp. 93–99, 2019, doi: 10.14314/polimery.2019.2.2.
- [141] M. Rohde-Tibitz, “Direct Processing of Long Fiber Reinforced Thermoplastic Composites and their Mechanical Behavior under Static and Dynamic Load,” *Direct Process. Long Fiber Reinf. Thermoplast. Compos. their Mech. Behav. under Static Dyn. Load*, pp. i–iii, 2015, doi: 10.3139/9781569906309.fm.
- [142] S. B. Singh, P. Munjal, and N. Thammishetti, “Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar,” *J. Build. Eng.*, vol. 4, pp. 94–100, 2015, doi: 10.1016/j.jobbe.2015.09.003.

- [143] V. G. Haach, G. Vasconcelos, and P. B. Loureno, "Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 6, pp. 2980–2987, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.011.
- [144] N. Bouhamou, N. Belas, H. Mesbah, R. Jaubertie, A. Ouali, and A. Mebrouki, "Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l'état durci du béton autoplaçant à base de matériaux locaux algériens," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 36, no. 7, pp. 1195–1206, 2009, doi: 10.1139/L09-071.
- [145] F. Koksall, E. T. Kocabeyoglu, O. Gencel, and A. Benli, "The effects of high temperature and cooling regimes on the mechanical and durability properties of basalt fiber reinforced mortars with silica fume," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 121, no. May, p. 104107, 2021, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104107.
- [146] B. Gaw and S. Zamora, "Soil Reinforcement with Natural Fibers for Low-Income Housing Communities," *Thesis wpi.edu*, p. 147, 2011.
- [147] P. Meukam, A. Noumowe, Y. Jannot, and R. Duval, "Caractérisation thermophysique et mécanique de briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 36, no. 261, pp. 453–460, 2003, doi: 10.1617/13802.
- [148] Ş. Yetgin, Ö. ÇAVDAR, and A. Çavdar, "The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 3, pp. 222–227, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.08.022.
- [149] B. Taallah, A. Guettala, S. Guettala, and A. Kriker, "Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 59, pp. 161–168, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.058.
- [150] A. Laborel-Préneron, J. E. Aubert, C. Magniont, C. Tribout, and A. Bertron, "Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 719–734, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119.
- [151] Y. Millogo, J. C. Morel, J. E. Aubert, and K. Ghavami, "Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 52, pp. 71–78, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.094.
- [152] D. LEVACHER, F. WANG, and Y. LIANG, "Co-valorisation de matériaux fins et sédiments," pp. 869–876, 2010, doi: 10.5150/jngcgc.2010.094-1.
- [153] A. E. M. K. Mohamed, "Improvement of swelling clay properties using hay fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 38, pp. 242–247, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.08.031.
- [154] A. Mesbah, J. C. Morel, P. Walker, and K. Ghavami, "Development of a Direct Tensile Test for Compacted Earth Blocks Reinforced with Natural Fibers," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 16, no. 1, pp. 95–98, 2004, doi: 10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:1(95).
- [155] M. Bouasker, N. Belayachi, D. Hoxha, and M. Al-Mukhtar, "Physical characterization of natural straw fibers as aggregates for construction materials applications," *Materials (Basel)*, vol. 7, no. 4, pp. 3034–3048, 2014, doi: 10.3390/ma7043034.
- [156] C. Flament, "Valorisation des fines de lavage de granulats: application a la construction en terre-crue," *Thèse Dr. Univ. d'Artois*, p. 238, 2012.
- [157] M. Bouhicha, F. Aouissi, and S. Kenai, "Performance of composite soil reinforced with barley straw," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 5, pp. 617–621, 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2004.09.013.
- [158] C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez, and J. Petric, "Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre," *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 8, pp. 1462–1468, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.01.008.
- [159] F. Aymerich, L. Fenu, and P. Meloni, "Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties of an earthen material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 27, no. 1, pp. 66–72, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.08.008.

- [160] K. Al Rim, A. Ledhem, O. Douzane, R. M. Dheilily, and M. Queneudec, "Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 21, no. 4, pp. 269–276, 1999, doi: 10.1016/S0958-9465(99)00008-6.
- [161] M. C. N. Villamizar, V. S. Araque, C. A. R. Reyes, and R. S. Silva, "Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks," *Constr. Build. Mater.*, vol. 36, pp. 276–286, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.056.
- [162] J. Page, F. Khadraoui, M. Boutouil, and M. Gomina, "Multi-physical properties of a structural concrete incorporating short flax fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 140, pp. 344–353, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.124.
- [163] C. M. Chan, "Effect of natural fibres inclusion in clay bricks: Physico-mechanical properties," *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 73, pp. 51–57, 2011, doi: 10.5281/zenodo.1331783.
- [164] A. Bouguerra, A. Ledhem, F. De Barquin, R. M. Dheilily, and M. Quéneudec, "Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates," *Cem. Concr. Res.*, vol. 28, no. 8, pp. 1179–1190, 1998, doi: 10.1016/S0008-8846(98)00075-1.
- [165] C. Zanotti, N. Banthia, and G. Plizzari, "A study of some factors affecting bond in cementitious fiber reinforced repairs," *Cem. Concr. Res.*, vol. 63, pp. 117–126, 2014, doi: 10.1016/j.cemconres.2014.05.008.
- [166] M. S. F. Keskidou, "Natural fiber-reinforced mortars, Laboratory of Building Materials, School of Civil Engineering Aristotle University of Thessaloniki, Greece," 2019.
- [167] H. Zhou, B. Jia, H. Huang, and Y. Mou, "Experimental study on basic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 6, 2020, doi: 10.3390/ma13061362.
- [168] A. Roy, S. Chakraborty, S. P. Kundu, R. K. Basak, S. Basu Majumder, and B. Adhikari, "Improvement in mechanical properties of jute fibres through mild alkali treatment as demonstrated by utilisation of the Weibull distribution model," *Bioresour. Technol.*, vol. 107, pp. 222–228, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2011.11.073.
- [169] S. R. Ferreira, F. D. A. Silva, P. R. L. Lima, and R. D. Toledo Filho, "Effect of fiber treatments on the sisal fiber properties and fiber-matrix bond in cement based systems," *Constr. Build. Mater.*, vol. 101, pp. 730–740, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120.
- [170] M. Rokbi, H. Osmani, A. Imad, and N. Benseddiq, "Effect of chemical treatment on flexure properties of natural fiber-reinforced polyester composite," *Procedia Eng.*, vol. 10, pp. 2092–2097, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.346.
- [171] M. I. Gomes, T. D. Gonçalves, and P. Faria, "Earth-based repair mortars: Experimental analysis with different binders and natural fibers," *Rammed Earth Conserv.*, pp. 661–668, 2012, doi: 10.1201/b15164-115.
- [172] Y. Ju, H. Liu, J. Liu, K. Tian, S. Wei, and S. Hao, "Investigation on thermophysical properties of reactive powder concrete," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 54, no. 12, pp. 3382–3403, 2011, doi: 10.1007/s11431-011-4536-4.
- [173] X. Li *et al.*, "Thermal and mechanical properties of high-performance fiber-reinforced cementitious composites after exposure to high temperatures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 157, pp. 829–838, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.125.
- [174] A. Simons *et al.*, "Development of bio-based earth products for healthy and sustainable buildings: Characterization of microbiological, mechanical and hygrothermal properties," *Mater. Tech.*, vol. 103, no. 2, 2015, doi: 10.1051/mattech/2015011.
- [175] J. Lima, P. Faria, and A. Santos Silva, "Earth Plasters: The Influence of Clay Mineralogy in the Plasters' Properties," *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 14, no. 7, pp. 948–963, 2020, doi: 10.1080/15583058.2020.1727064.

- [176] W. Zheng, B. Luo, and Y. Wang, "Microstructure and mechanical properties of RPC containing PP fibres at elevated temperatures," *Mag. Concr. Res.*, vol. 66, no. 8, pp. 397–408, 2014, doi: 10.1680/macrcr.13.00232.
- [177] A.M. Neville, "Properties of Concrete, Pearson," 2011.
- [178] C. Djelal, J. Page, H. Kada, and Y. Vanhove, "Feasibility study of using poplar wastes as sand in cement mortars," *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 22, no. 2, pp. 488–500, 2020, doi: 10.1007/s10163-019-00946-x.
- [179] A. Sellami, M. Merzoud, and S. Amziane, "Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1117–1124, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.073.
- [180] D. G. Soltan, P. das Neves, A. Olvera, H. Savastano Junior, and V. C. Li, "Introducing a curauá fiber reinforced cement-based composite with strain-hardening behavior," *Ind. Crops Prod.*, vol. 103, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.016.
- [181] K. Bilba and M. A. Arsene, "Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 39, no. 9, pp. 1488–1495, 2008, doi: 10.1016/j.compositesa.2008.05.013.
- [182] H. E. GRAM, "Durability of natural fibres in concrete. Swedish cement and concrete research institute.," *CBI Res. Stock.*, no. 1–83, p. 255, 1983.
- [183] R. D. Tolêdo Filho, K. Scrivener, G. L. England, and K. Ghavami, "Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 22, no. 2, pp. 127–143, 2000, doi: 10.1016/S0958-9465(99)00039-6.
- [184] G. Ramakrishna and T. Sundararajan, "Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 5, pp. 575–582, 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2004.09.008.
- [185] A. Kriker, A. Bali, G. Debicki, M. Bouziane, and M. Chabannet, "Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, no. 7, pp. 639–648, 2008, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.11.006.
- [186] L. C. Roma, L. S. Martello, and H. Savastano, "Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 4, pp. 668–674, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.10.001.
- [187] K. Ghavami, "Bamboo as reinforcement in structural concrete elements," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 6, pp. 637–649, 2005, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002.
- [188] H. C. Lima, F. L. Willrich, N. P. Barbosa, M. A. Rosa, and B. S. Cunha, "Durability analysis of bamboo as concrete reinforcement," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 41, no. 5, pp. 981–989, 2008, doi: 10.1617/s11527-007-9299-9.
- [189] G. H. D. Tonoli, A. P. Joaquim, M. A. Arsne, K. Bilba, and H. Savastano, "Performance and durability of cement based composites reinforced with refined sisal pulp," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 22, no. 2, pp. 149–156, 2007, doi: 10.1080/10426910601062065.
- [190] M. S. Sreekala, M. G. Kumaran, S. Joseph, M. Jacob, and S. Thomas, "Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fibre surface modifications on the mechanical performance," *Appl. Compos. Mater.*, vol. 7, no. 5–6, pp. 295–329, 2000, doi: 10.1023/A:1026534006291.
- [191] J. M. F. De Paiva and E. Frollini, "Unmodified and modified surface sisal fibers as reinforcement of phenolic and lignophenolic matrices composites: Thermal analyses of fibers and composites," *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 291, no. 4, pp. 405–417, 2006, doi: 10.1002/mame.200500334.
- [192] H. A. Al-Kaabi K., Al-Khanbashi A., "Al-Kaabi K., Al-Khanbashi A., Hammami A.," *Polym. Compos.*, 2005.

- [193] J. Gassan and V. S. Gutowski, "Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute-fibre epoxy composites," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 60, no. 15, pp. 2857–2863, 2000, doi: 10.1016/S0266-3538(00)00168-8.
- [194] M. A. Khan, R. A. Khan, Haydaruzzaman, A. Hossain, and A. H. Khan, "Effect of gamma radiation on the physico-mechanical and electrical properties of jute fiber-reinforced polypropylene composites," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 28, no. 13, pp. 1651–1660, 2009, doi: 10.1177/0731684408090365.
- [195] R. Li, Y. Gu, Z. Yang, M. Li, S. Wang, and Z. Zhang, "Effect of γ irradiation on the properties of basalt fiber reinforced epoxy resin matrix composite," *J. Nucl. Mater.*, vol. 466, pp. 100–107, 2015, doi: 10.1016/j.jnucmat.2015.07.037.
- [196] H. U. Zaman, M. A. Khan, and R. A. Khan, "Improvement of mechanical properties of jute fibers-polyethylene/polypropylene composites: Effect of green dye and UV radiation," *Polym. - Plast. Technol. Eng.*, vol. 48, no. 11, pp. 1130–1138, 2009, doi: 10.1080/03602550903147262.
- [197] M. Ragoubi *et al.*, "Effect of corona discharge treatment on mechanical and thermal properties of composites based on miscanthus fibres and polylactic acid or polypropylene matrix," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 43, no. 4, pp. 675–685, 2012, doi: 10.1016/j.compositesa.2011.12.025.
- [198] M. Sarikanat, Y. Seki, K. Sever, E. Bozaci, A. Demir, and E. Ozdogan, "The effect of argon and air plasma treatment of flax fiber on mechanical properties of reinforced polyester composite," *J. Ind. Text.*, vol. 45, no. 6, pp. 1252–1267, 2016, doi: 10.1177/1528083714557057.
- [199] C. Sawsen, K. Fouzia, B. Mohamed, and G. Moussa, "Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite," *Constr. Build. Mater.*, vol. 79, pp. 229–235, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.091.
- [200] A. Bourmaud, C. Morvan, A. Bouali, V. Placet, P. Perré, and C. Baley, "Relationships between microfibrillar angle, mechanical properties and biochemical composition of flax fibers," *Ind. Crops Prod.*, vol. 44, pp. 343–351, 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2012.11.031.
- [201] S. Ajouguim, K. Abdelouahdi, M. Waqif, M. Stefanidou, and L. Saâdi, "Modifications of Alfa fibers by alkali and hydrothermal treatment," *Cellulose*, vol. 26, no. 3, pp. 1503–1516, 2019, doi: 10.1007/s10570-018-2181-9.
- [202] S. Mouhoubi, M. E. H. Bourahli, H. Osmani, and S. Abdeslam, "Effect of Alkali Treatment on Alfa Fibers Behavior," *J. Nat. Fibers*, vol. 14, no. 2, pp. 239–249, 2017, doi: 10.1080/15440478.2016.1193088.
- [203] A. Bessadok *et al.*, "Effect of chemical treatments of Alfa (*Stipa tenacissima*) fibres on water-sorption properties," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 67, no. 3–4, pp. 685–697, 2007, doi: 10.1016/j.compscitech.2006.04.013.
- [204] H. Gu, "Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 9, pp. 3931–3934, 2009, doi: 10.1016/j.matdes.2009.01.035.
- [205] A. Alawar, A. M. Hamed, and K. Al-Kaabi, "Date palm tree fiber as polymeric matrix reinforcement, DPF-polypropylene composite characterization," *Adv. Mater. Res.*, vol. 47-50 PART, pp. 193–196, 2008, doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.47-50.193.
- [206] J. Gassan and A. K. Bledzki, "Possibilities for improving the mechanical properties of jute/epoxy composites by alkali treatment of fibres," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 59, no. 9, pp. 1303–1309, 1999, doi: 10.1016/S0266-3538(98)00169-9.
- [207] S. J. Eichhorn *et al.*, "Current international research into cellulosic fibres and composites," *J. Mater. Sci.*, vol. 36, no. 9, pp. 2107–2131, 2001, doi: 10.1023/A:1017512029696.
- [208] Y. Zhou, M. Fan, and L. Chen, "Interface and bonding mechanisms of plant fibre composites: An overview," *Compos. Part B Eng.*, vol. 101, pp. 31–45, 2016, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.06.055.
- [209] A. C. Manalo, E. Wani, N. A. Zukarnain, W. Karunasena, and K. T. Lau, "Effects of alkali treatment and

- elevated temperature on the mechanical properties of bamboo fibre-polyester composites,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 80, pp. 73–83, 2015, doi: 10.1016/j.compositesb.2015.05.033.
- [210] M. Y. Hashim, A. M. Amin, O. M. F. Marwah, M. H. Othman, M. R. M. Yunus, and N. Chuan Huat, “The effect of alkali treatment under various conditions on physical properties of kenaf fiber,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 914, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/914/1/012030.

Chapitre 3: Matériaux et Protocole Expérimental

3.1 Introduction

Ce troisième chapitre a pour objectif de présenter l'ensemble du contexte expérimental, qui a servi de support à cette thèse. Un aperçu sur les essais expérimentaux ainsi que la préparation des mélanges et les variables étudiées sont rapportés dans ce travail.

3.2 Matériaux utilisés

3.2.1 Les fines de brique recyclé

Les fines de brique recyclé (FBR) utilisés dans cette étude, proviennent du Complexe de Briqueterie et Tuilerie de BABA-ALI (C.B.T.B.A) située à la wilaya d'Alger. C'est une société familiale existant depuis 1941. Son métier est la fabrication de produits rouges. Le (C.B.T.B.A) a récemment réaménagé son usine de fabrication pour la production de briques de 8 trous, 12 trous et hourdis. Cette usine est composée de quatre lignes de productions issues des dernières technologies.

Une quantité importante de briques cassées, estimée à 14600 tonnes est entre posée aux alentours de l'usine (Figure 3-1).

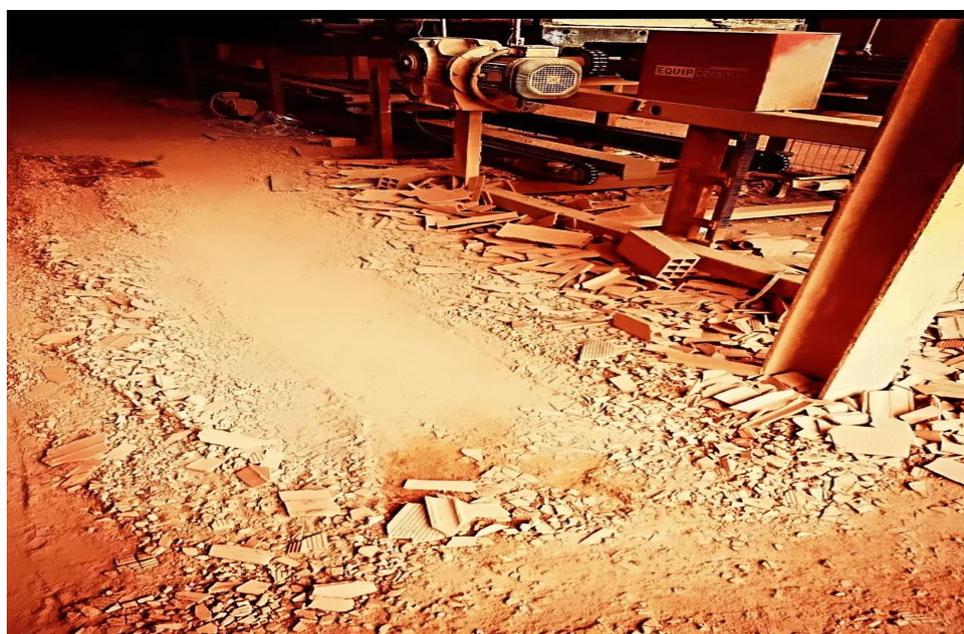


Figure 3-1: Les déchets de brique déposés aux alentours de l'usine.

Les fines de brique ont une masse volumique de $2216,33\text{kg/m}^3$ et ont été broyées au laboratoire à une finesse SSB de $1745\text{ cm}^2/\text{g}$. La Figure 3-2 montre les fines de déchets de brique obtenues. Les procédures de broyage pour avoir une finesse de $1745\text{ cm}^2/\text{g}$ commence

par l'inclusion de 5kg de déchet de brique concassé dans le broyeur, puis ajouté 110 boules métalliques dedans. Faire tourner le broyeur pour 40min de temps (Figure 3-3).

La composition chimique des fines de déchets de brique est donnée dans le Tableau 3.1.

Tableau 3-1: Caractéristiques chimiques de FBR[1].

Compositions chimique (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃
Fine de brique	66,54	16,88	4,24	6,662	2,73	2,41	1,03	/	0,46

Tableau 3-2:Caractéristiques physique de FBR

Matériaux	ρ_{abs} (kg/m ³)	ρ_{app} (kg/m ³)	SSB(cm ² /g)
Fine de brique (FBR)	2216,33	1141,32	1745



Figure 3-2: Les FBR obtenus après les procédures de broyage.



Les procédures de ce travail commencent par le ramassage des déchets de brique posée aux alentours



Lavage et nettoyage des déchets de brique puis séchage.



Concassage pour avoir des petites particules et facilité le broyage



Broyage des déchets de brique concassé pour obtenir les fines de brique a utilisé donne cette étude.

Figure 3-3:Les procédures de broyage et recyclage des déchets de brique.

3.2.2 Ciment

Nous avons utilisé le ciment type CEM II/B-L 42.5 N de masse volumique 2821,23 kg/m³. Sa surface spécifique est de 3490 cm²/g. Ce ciment est fourni par le groupe Lafarge (cimenterie de Msila). Les caractéristiques chimiques des ciments sont données dans le Tableau3-3, et les caractéristiques physiques et mécaniques sont données dans le Tableau3-4.

Tableau 3-3: Caractéristiques chimiques de ciments

Composition chimique (%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	LOI
CEM II/B-L 42.5 N	60,17	17,77	4,30	2,62	0,9	1,94	0,56	10,6

Tableau 3-4: Caractéristiques physiques de ciment

ciment	Rc minimale à 28j (MPa)	ρ_{abs} (kg/m ³)	ρ_{app} (kg/m ³)	SSB (cm ² /g)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
CEM II/B-L 42.5 N	42,5	2821,03	1089,21	3490	173	222

**Figure 3-4 :** Ciment MATINE (CEM II/B-L 42.5 N) fourni par le groupe Lafarge.

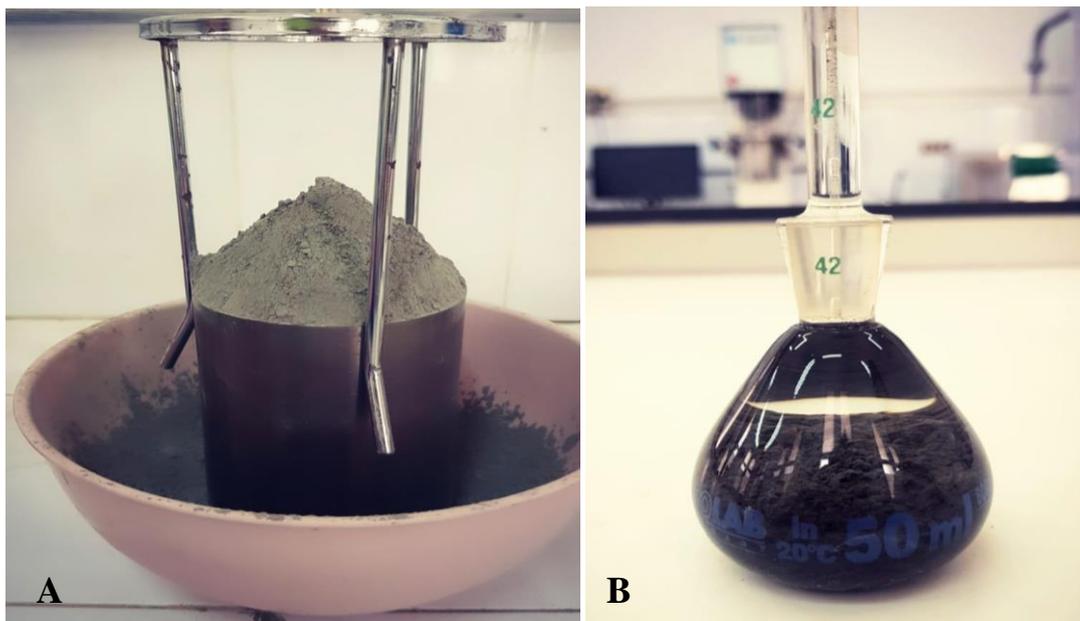


Figure 3-5: Caractérisation physique de ciments A) Masse volumique apparente (kg/m^3) B) Masse volumique absolue (kg/m^3).

3.2.3 Les granulats utilisés pour béton

Pour la confection des dalles et des cylindres pour l'essai d'adhérence on a utilisé des graviers provenant de Sétif :

- Graviers 3/8.
- Gravier 8/15.

Deux types de sable ont été utilisés :

- Sable de Baghlia: c'est un sable d'oued de classe 0/5.
- Sable d'Oued Souf: c'est un sable de dune de classe 0/2.

Tableau 3-5: Caractéristiques des granulats utilisés

Granulat	Sable 0/2	Sable 0/5	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Masse volumique absolue (kg/m^3)	2504	2536	2684	2697
Masse volumique apparente (kg/m^3)	1526	1515	1497	1472
Module de finesse	1.54	3.67	/	/
Composition (%)	50%	50%	50%	50%

3.2.4 Les sables pour mortier :

Dans le cadre de notre étude on a utilisé deux types de sable :

- Sable de Baghlia : c'est un sable d'oued provenant de la région de Baghlia. Ou les grains sont caractérisés par une forme roulée de classe granulaire 0/5 mm.
- Sable de bougezoul : c'est un sable provenant de la région bougezoul. Il s'agit d'un sable naturel roulé de classe granulaire 0/2 mm.

Tableau 3-6: Caractéristiques des granulats utilisés

Caractéristiques	Sable de Baghlia	Sable de Bougezoul	Sable corrigé
ρ_{app} (kg/m ³)	1689,97	1511,43	1600
ρ_{abs} (kg/m ³)	2687,743	2611,99	2649,865
Coefficient d'absorption (%)	1,50	1,50	1,50
Module de finesse	3,3	1,7	2,3
Équivalent de sable	89,36	74,56	80,96

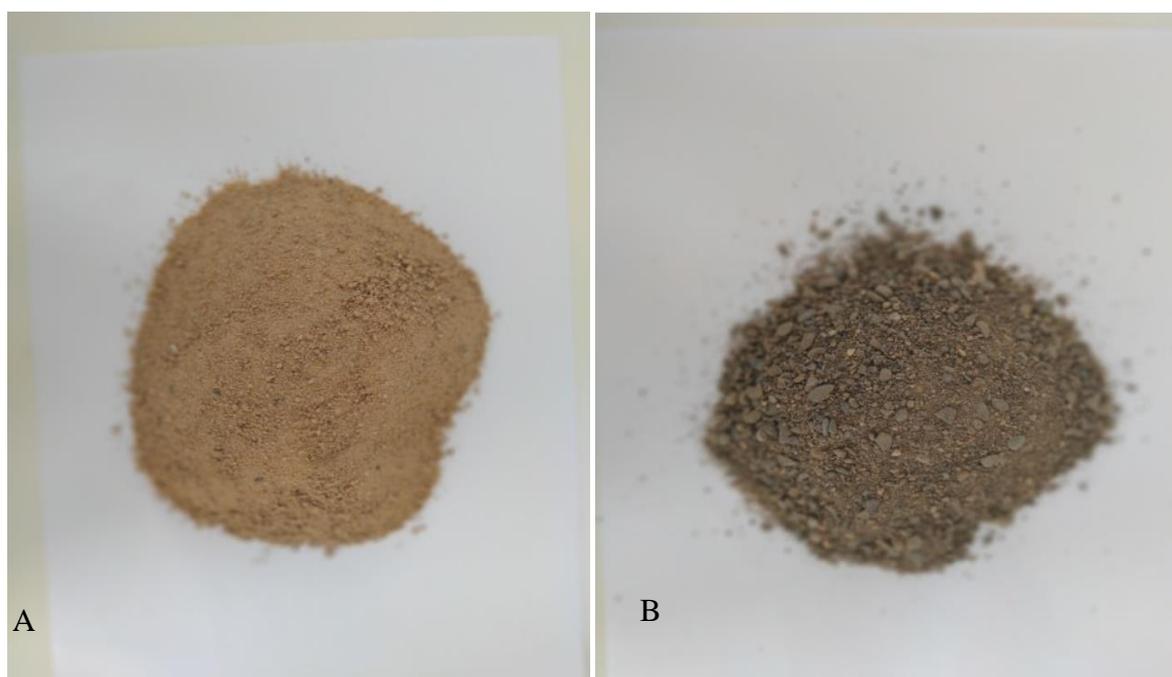


Figure 3-6: sable utilisé. A) sable 0/2 de bougezoul, B) sable 0/5 de baghlia.

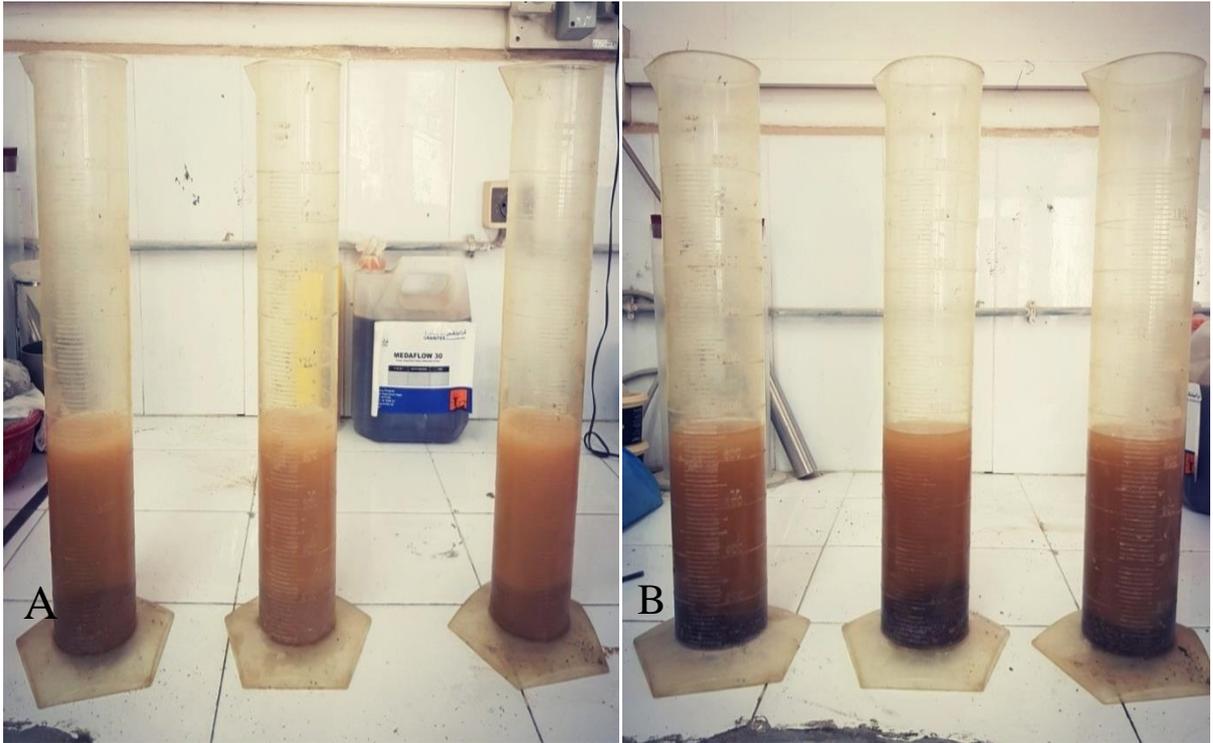


Figure 3-7: poids volumique apparente. A) sable 0/2 de bougezoul, B) sable 0/5 de baghlia.



Figure 3-8: poids volumique absolu. A) sable 0/2 de bougezoul, B) sable 0/5 de baghlia.

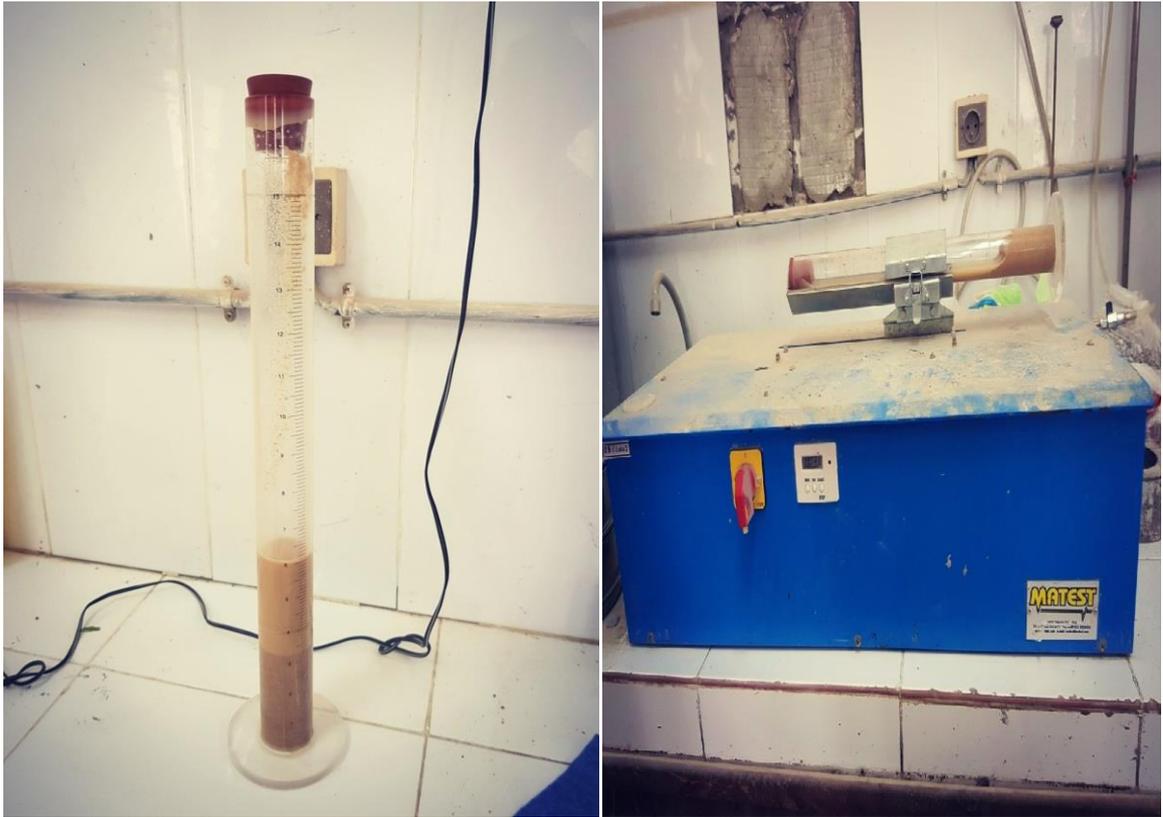


Figure 3-9 : Equivalent de sable.



Figure 3-10: Analyse granulométrique.

3.2.5 Eau de gâchage :

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier.

L'eau utilisée pour la confection des éprouvettes, des dalles, des cylindres, est une eau du robinet disponible au niveau de laboratoire de génie civil à Blida, propre et exempte d'impuretés. L'eau utilisée ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, corrosion des armatures, etc).

3.2.6 Adjuvants :

Nous avons utilisé dans ce travail le MEDAFLOW 30 c'est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether, conforme à la norme **NF EN 934-2**[2]. Il améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton. Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

Les propriétés de MEDAFLOW 30 sur l'état frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible.
- Amélioration considérable de la fluidité.
- Une très bonne maniabilité.
- Éviter la ségrégation.
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

Les propriétés de MEDAFLOW 30 sur l'état frais durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme.
- Diminuer la porosité.
- Augmenter la durabilité.
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration[3].

Tableau 3-7: Caractéristiques du superplastifiant[3].

Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
Densité	1,07±0,01
Extrait sec (%)	30
Ph	6-6.5
Teneur en chlore	<0,1g/l



Figure 3-11: superplastifiant MEDAFLOW 30, GRANITEX.

3.2.7 Fibre végétale :

La fibre végétale utilisée dans le cadre de notre étude est la fibre d'alfa. Elle est de nature cellulosique coupée en deux longueurs de 10mm et 30mm, le coefficient d'absorption des fibres d'alfa est de 200%, avec une masse volumique absolue de $855,9 \text{ kg/m}^3$.



Figure 3-12: Fibres d'alfa à l'état naturel avant le découpage.

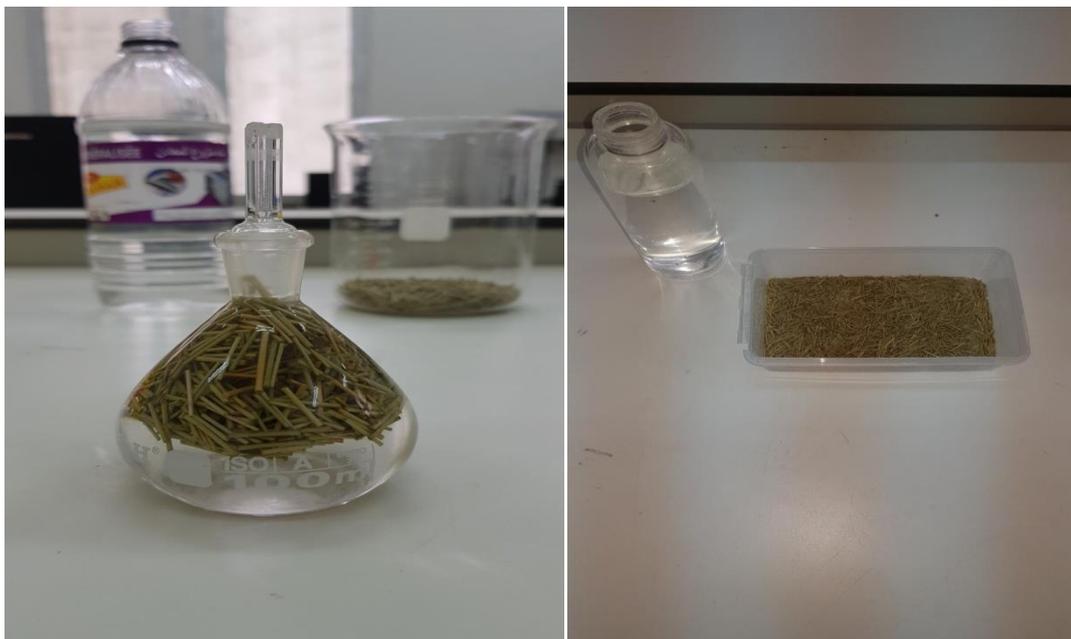


Figure 3-13: Caractérisation physique des fibres d'alfa découpé.

3.2.7.1 Prétraitement des fibres :

Les fibres d'alfa sont découpées manuellement à 10 mm et 30mm de longueur et sont bien lavées à l'eau pour éliminer la poussière. Elles sont ensuite séchées dans l'étuve à 60°C pendant 24h afin de garantir une teneur en humidité constante. A ce stade, les fibres séchées sont désignées sous le nom de fibres brutes.



Figure 3-14: Le découpage des fibres a 10mm et 30mm.

Tableau 3-8:Caractéristiques chimiques de la fibre d'alfa[4]

Type de fibre	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)	Pectine (%)	Cires (%)
Fibre d'alfa	45,4	38,5	14,9	-	2

3.2.7.2 Traitement chimique :

Le traitement chimique entamé pour les fibres d'alfa commence par l'immersion des fibres dans une solution d'eau distillé et d'hydroxyde de sodium (NaOH) à une concentration de 6 % en poids, pendant 6 h. Ensuite, on a rincé les fibres une première fois avec une solution d'eau distillé contenant des gouttes d'acide acétique (1 % en poids) afin de neutraliser l'excès d'hydroxyde de sodium. Dans un deuxième temps les fibres traitées ont été rincées à l'eau distillée, pour diminuer le PH jusqu'à PH<9, puis on a placé les fibres dans une étuve à 60 C pendant 48 heures.



Préparation de la solution d'hydroxyde de sodium (6% NaOH + 94% eau distillée).

Immersion des fibres d'alfa dans la solution pendant 6h de temps



Après 6h. Rinçage des fibres d'alfa on commence par une solution qui contient de l'eau distillée et (1 % en poids) d'acide acétique pendant 5min.



Puis rinçage des fibres en utilisant l'eau distillée jusqu'à atteindre un résultat de $\text{pH} \leq 9$.



Séchage des fibres obtenus à une température de 60°C pendant 48h.

Figure 3-15: Les procédures entamées pour le traitement alcalin sur les fibres d'alfa.

3.2.7.3 Traitement hydrothermique :

On a commencé par immersion des fibres dans l'eau distillée bouillante pendant une période de 60 min. Ensuite en utilisant l'eau distillée, on a rincée les fibres bouillies afin d'éliminer les matières extractibles libérées. Enfin, le séchage des fibres nettoyées à une température ambiante pendant 48 heures.



L'immersion des fibres d'alfa dans l'eau bouillante distillée pendant 60 min



Rinçage des fibres bouillies en utilisant l'eau distillée.



Séchage des fibres à une température ambiante pendant 48 heures.

Figure 3-16: Les procédures entamées pour le traitement hydrothermique sur les fibres d'alfa.

3.3 Formulations adoptées :3.3.1 Béton :

Le béton de substrat (support) préparé dans cette étude est généralement celui qui est utilisé dans les chantiers algériens (B25/30). La proportion de mélange du substrat est également présentée dans le tableau. La composition du béton a été déterminé par la méthode Dreux Gorisse[5].

Tableau 3-9: Composition du béton

Constituant		Quantité	Remarque
Ciment		350	CEM II/42,5
Gravier	03/08	171	Max 8mm
	08/15	1062	Max 15mm
Sable	Boughezoul	198	Max 2mm
	Baghlia	297	Max 5mm
Eau		227,5	Eau du laboratoire
E/C		0,65	--

La fabrication des gâchées est effectuée dans un malaxeur de capacité maximale 40 litre. On a réalisé les dalles en béton armé avec des moules en acier de 70×230×280 mm. Après 28 jours du malaxage les surfaces des dalles ont été traitées selon **KENAI Abdelraouf** et **REZAGUI Moussa**[6], en utilisant une ponceuse à béton pour éliminé la couche de poussière, et assuré une bonne adhérence entre le mortier et la dalle. Les éprouvettes cylindriques ont été coulés dans des moules cylindriques de Ø100×200 mm sur un dispositif en acier pour garder une inclinaison de 30°. Après 28 jours la surface inclinée a été traitée par une ponceuse tout comme les dalles.



Figure 3-17: A) Moule pour les dalles en béton 70×230×280. B) Dispositif d'inclinaison 30° pour les moules cylindriques.



Figure 3-18: Demi-cylindre et dalle en béton.

3.3.2 Mortiers de réparation :

Les mortiers de réparation ont été formulés à base d'un mortier ordinaire dont les composants d'un mélange de deux sables (0/5) de Baghlia (50%) et (0/2) Boughezoul (50%). Le ciment utilisé est un CEM II/42.5 de Lafarge. Et (1.1%) d'un adjuvant superplastifiant MEDAFLOW de Granitex. Le rapport E/L est constant et la seule variable étant le dosage en superplastifiant. Le dosage en superplastifiant est déterminé de manière expérimentale à partir d'essais sur mortier frais afin d'obtenir un mortier mou d'étalement varie de 180 à 200 mm pour tous les mortiers et un temps d'écoulement LCPC entre 11 et 40 sec. Le rapport E/L=0.5 et S/L=3 respectivement. Le tableau 3-10 représente la composition des différents mortiers de réparation.

Pour la confection des mortiers, nous avons utilisé un malaxeur de 5 litres de capacité. La séquence de malaxage commence par. Malaxer les matériaux (ciment et sable) pendant environ 30s à vitesse lente, ajouter 70% d'eau et malaxer pendant 30s à vitesse lente aussi, puis ajouter 30% d'eau plus le superplastifiant passer ensuite à la vitesse rapide pendant 30s. Une pause est ensuite observée pendant une minute et 90s pour recalage. Effectuer en fin un malaxage pendant 60s à vitesse rapide.

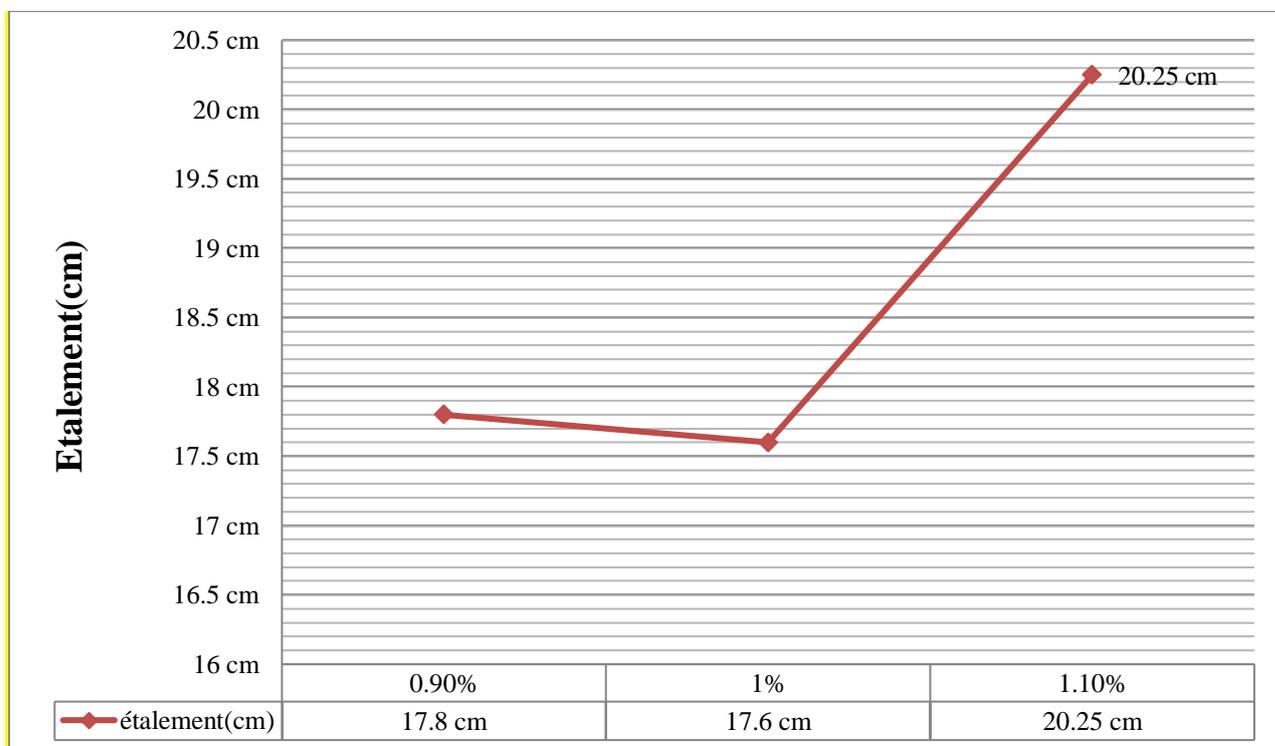


Figure 3-19: Optimisation du pourcentage du superplastifiant.

Tableau 3-10: Proportion des mélanges des mortiers

Mortier	Ciment(g)	FBR(g)	Sable(g)	Eau(g)	SP(g)	Fibre d'alfa(g)	
MR	833,33	0	2500	418,17	9,17	0	
M5% FBR	791,67	41,67	2500	418,17	8,71	0	
M10% FBR	750	83,33	2500	418,17	8,25	0	
M15% FBR	708,33	125	2500	418,17	7,79	0	
FAST 10mm et 30mm	M5% FBR	791,67	41,67	2500	418,17	8,71	14,35
	M10% FBR	750	83,33	2500	418,17	8,25	14,35
	M15% FBR	708,33	125	2500	418,17	7,79	14,35
FAT(EB) 10mm et 30mm	M5% FBR	791,67	41,67	2500	418,17	8,71	14,35
	M10% FBR	750	83,33	2500	418,17	8,25	14,35
	M15% FBR	708,33	125	2500	418,17	7,79	14,35
FAT (NaOH) 10mm et 30mm	M5% FBR	791,67	41,67	2500	418,17	8,71	14,35
	M10% FBR	750	83,33	2500	418,17	8,25	14,35
	M15% FBR	708,33	125	2500	418,17	7,79	14,35

MR: Mortier de référence, FBR: Fine de brique recyclé, SP: Superplastifiant, FAST: Fibre d'alfa sans traitement, FAT(EB): Fibre d'alfa traité avec l'eau bouillante, FAT(NaOH): Fibre d'alfa traité avec NaOH.



Figure 3-20: Formulation du mortier de réparation.

3.3.2.1 Application du mortier de réparation :

Placées les dalles en béton dans des moules en bois de 90×235×285 mm pour appliquer le mortier de réparation avec une épaisseur de 20mm uniformément sur toute la surface.



Figure 3-21: Application du mortier de réparation sur les dalles.

Placées les éprouvettes cylindriques dans des moules cylindriques de Ø100×200 mm en acier puis remplissage par le mortier de réparation.



Figure 3-22: Application du mortier de réparation sur les éprouvettes cylindrique.

Les moules normalisés permettent de réaliser trois éprouvettes prismatiques de section carrée $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Pour le compactage, les éprouvettes ont été mises dans une table vibrante pendant 60s.

Après moulage, les moules contenant les spécimens ont été couverts de film en plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et immergés dans l'eau à une température de $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.



Figure 3-23: Application du mortier de réparation dans les moule $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$.

3.4 Essai de consistance et de prise

L'essai de consistance est effectué selon la norme EN 196-3 [7]. L'appareil Vicat utilisé pour cet essai est composé d'un moule tronconique ($h=40$ mm $d_1= 70$ mm et $d_2= 80$ mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de $\Phi = 10$ mm.

La sonde est amenée à la surface de l'échantillon. Elle est ensuite relâchée sans élan (sans vitesse initiale). La sonde s'enfonce alors dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 sec d'attente), on relève la distance (d) séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base. La pâte sera à consistance normale si $d= 6$ mm \pm 1 mm.

L'essai de prise est effectué selon la norme EN 196-3 [7]. C'est le même appareil qui est utilisé, dans les mêmes conditions à l'exception de la sonde où le diamètre est plus petit ($\Phi = 1.13$ mm). Une fois la pâte à consistance normale obtenue, l'aiguille de Vicat est relâchée à la surface de l'échantillon sans vitesse initiale. L'aiguille s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 sec d'attente), on relève la distance (d) séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base. L'opération est recommencée à des intervalles de temps convenables jusqu'à ce que $d = 4$ mm \pm 1 mm. La fin de prise est réalisée sur la phase inférieure de l'échantillon. La fin de prise est enregistrée lorsque l'aiguille de Vicat ne s'enfonce plus dans la pâte et ne laisse pas de trace.

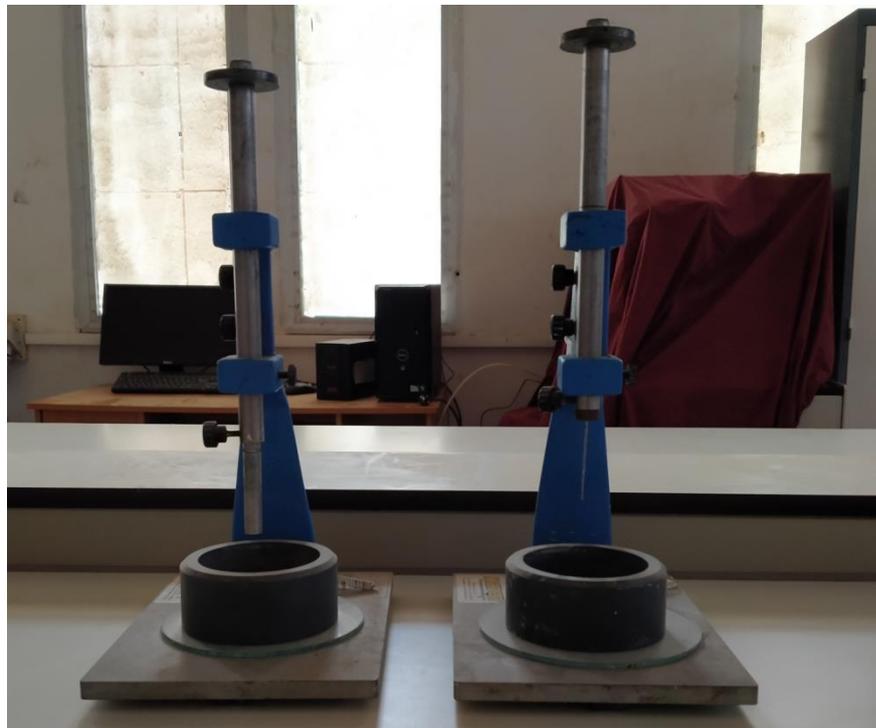


Figure 3-24: Appareil de Vicat.

3.5 Essai sur l'état frais des mortiers :3.5.1 Essai d'étalement des mortiers :

L'essai d'étalement à la table à chocs est effectué conformément à la norme **NF EN 12350-5** [8]. Cet essai consiste à utiliser une table à secousse comprenant un plateau métallique animé d'un mouvement vertical. Un moule tronconique est disposé sur cette table et rempli de mortier à étudier. Après arasement et démoulage (en soulevant le moule), le mélange subit quinze chocs en quinze secondes. Le matériau s'étale sous forme d'une galette (Figure 3-25). Les deux diamètres perpendiculaires de l'étalement sont alors mesurés.

$$E\% = 100 \times \frac{D_r - D_i}{D_i} \quad (3.1)$$

Avec : D_r = diamètre final. D_i = diamètre initial.

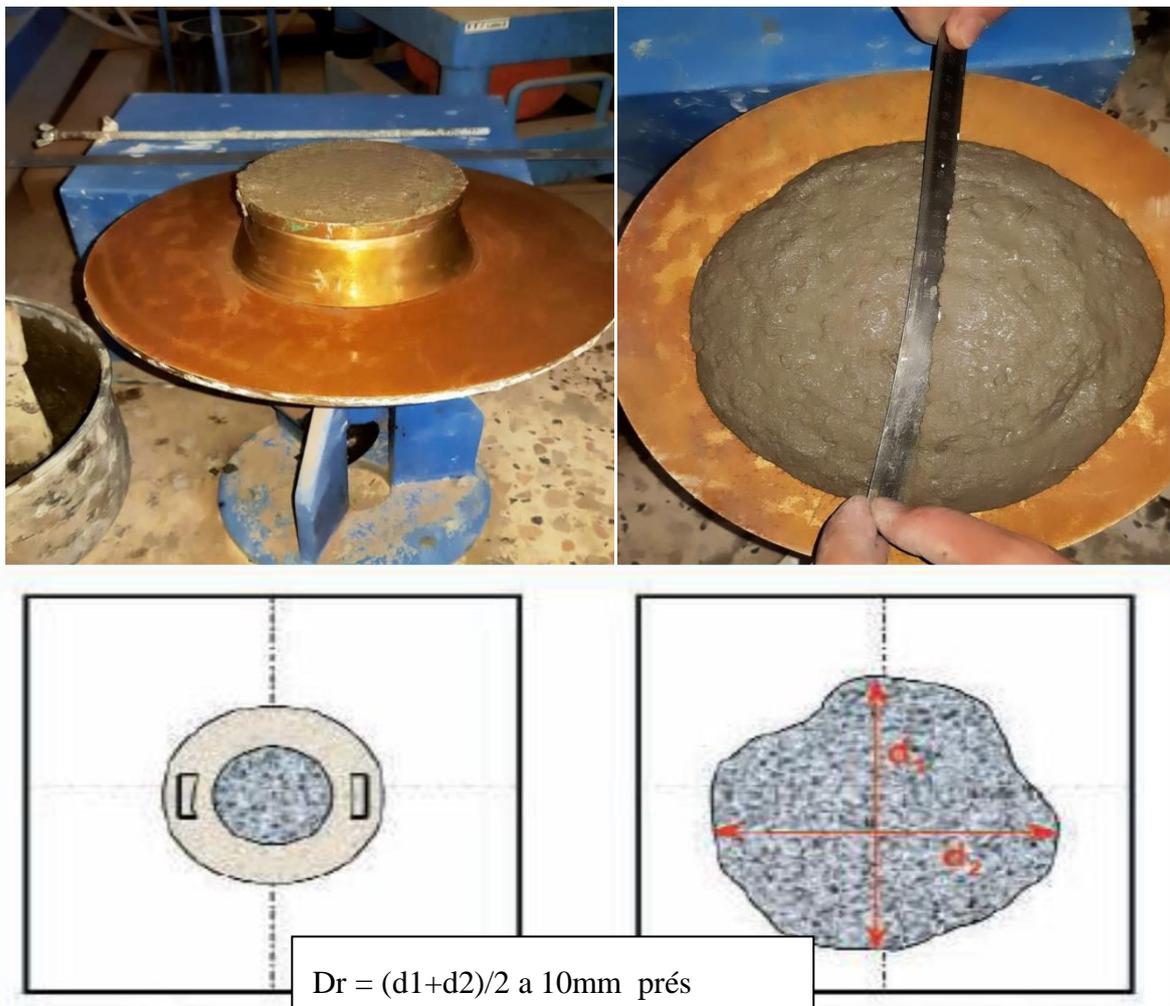


Figure 3-25: Etallement de mortier.

Tableau 3-11: Valeurs d'étalement à la table à secousse[8].

Ouvrabilité	Etalement a la table (%)
Très ferme	10-30
Ferme	30-60
Normal	60-80
Mou	80-100
Très mou	>100

3.5.2 Maniabili-mètre LCPC :

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide d'appareil de maniabilimètre conformément à la norme **NF P 18-452** [9], il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique à des dimensions connus, posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible [3]. C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou superplastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser consistence égale .il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance. Dans ces essais la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Cette grandeur est caractérisée par la mesure d'écoulement.

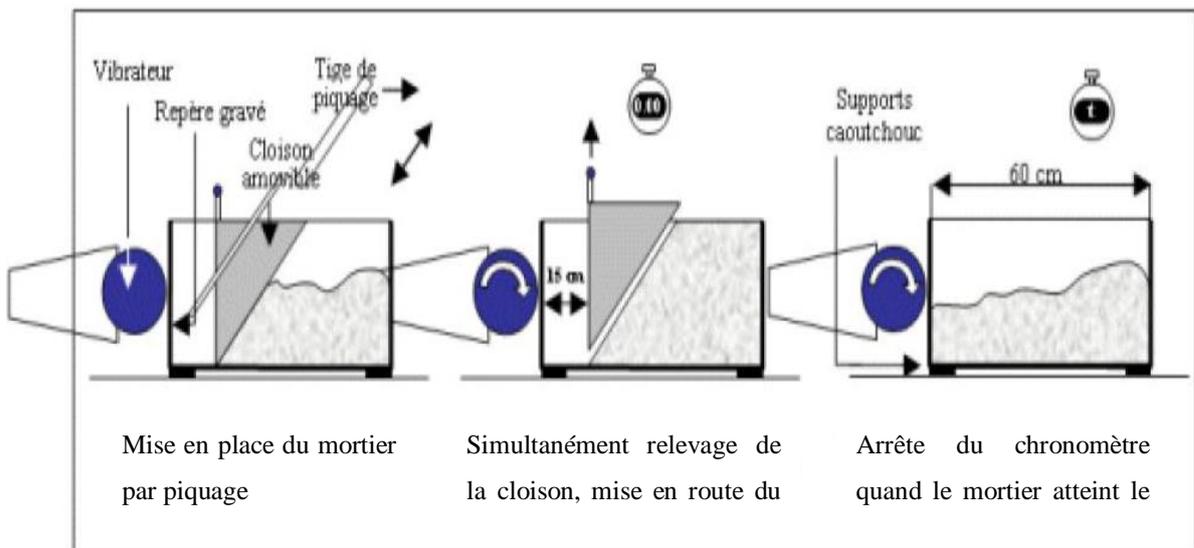


Figure 3-26: Principe de fonctionnement du LCPC.

Tableau 3-12: Consistance du mortier [9].

Temps	consistances
t entre 0 et 10 secondes	Consistance fluide
t entre 11 et 40 secondes	Consistance plastique
t entre 41 secondes et plus	Consistance ferme

3.5.3 Masses volumiques apparentes et air occlus :

Les masses volumiques apparentes des mortiers sont déterminées selon la norme NF EN 1015-6[10].

La mesure de l'air occlus est déterminée à l'aide d'un aéromètre à mortier "Contrôlable" de 1L, selon la norme NF EN 413-2[11].



Figure 3-27: mesure de l'air occlus à l'aide d'un aéromètre à mortier.



Figure 3-28: mesure des masses volumiques apparentes des mortiers.

3.6 Essais réalisés sur mortier à l'état durci :3.6.1 Résistance à la compression et à la flexion :

La résistance à la compression et à la flexion du mortier a été réalisée sur des éprouvettes prismatiques de 40 x 40 x 160 mm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en flexion et en compression selon la norme EN196-1[12].

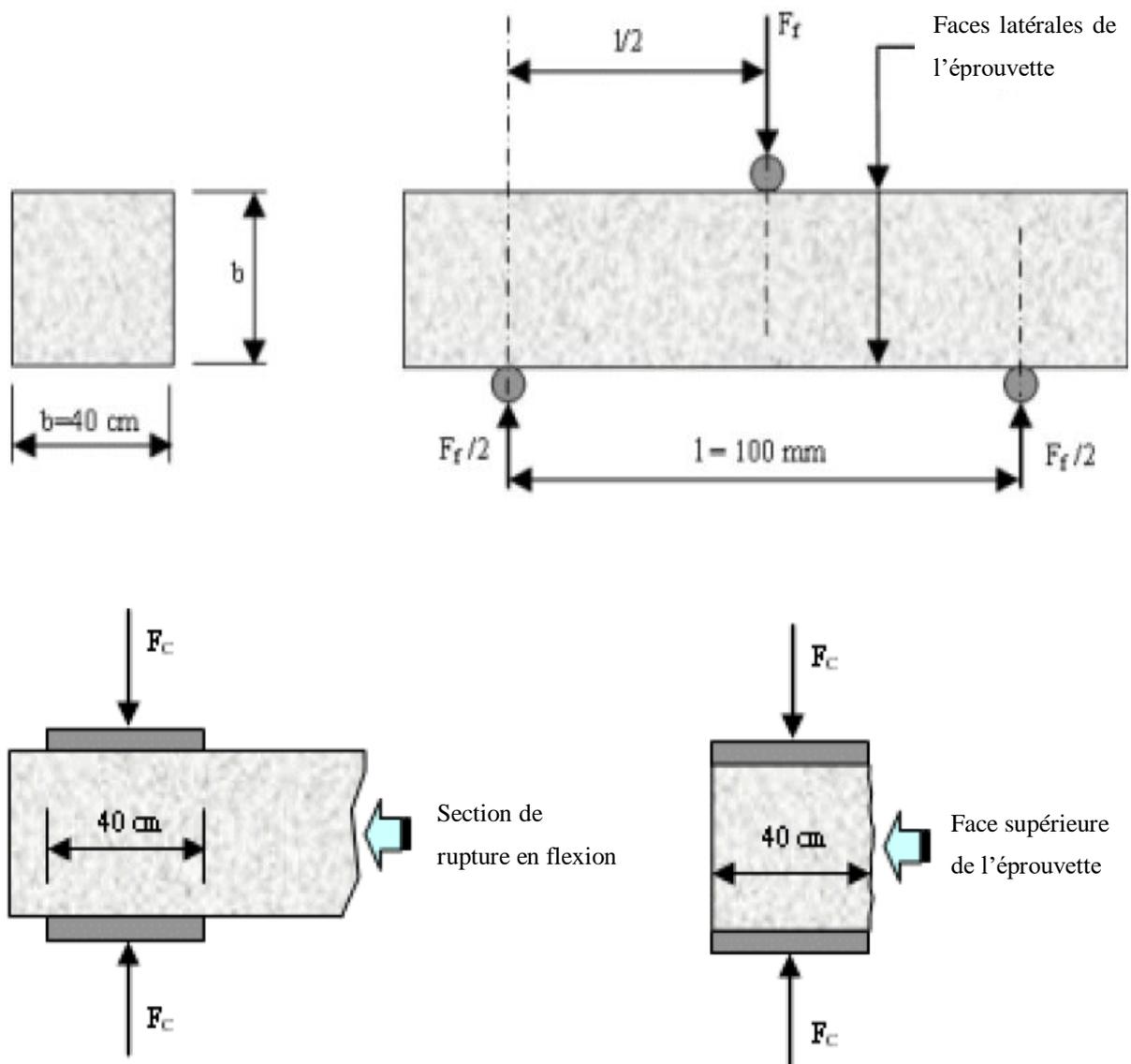


Figure 3-29: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion et à la compression.



Figure 3-30: A) Essai de résistance à la flexion ; B) Essai de résistance à la compression.

3.6.2 Essai d'adhérence par cisaillement oblique :

La norme ASTM C882 [13] est largement utilisée pour l'évaluation de l'adhérence des matériaux de réparation à base de ciment comme le montre la Figure 3-31. L'essai de cisaillement oblique est une méthode appropriée pour l'évaluation de l'adhérence sous une combinaison de cisaillement et de compression. Les composites utilisés dans ce teste se compose de deux demis cylindres (incliné à 30°).



Figure 3-31: Essai d'adhérence par cisaillement oblique.

Les éprouvettes cylindriques composites ont été testées en compression à l'âge de 90 jours après l'application du mortier de réparation.

La contrainte d'adhérence est calculée d'après la formule suivante :

$$\tau = \frac{F}{\pi D^2} \times 4 \times \sin 30 \quad (3.2)$$

F : La charge de rupture.

D : Diamètre du cylindre (100 mm).

3.6.3 Essai d'adhérence par arrachement :

L'essai d'arrachement consiste à coller une pastille métallique sur la surface revêtue et à appliquer un effort de traction jusqu'à la rupture. Les pastilles utilisées dans le cadre de ce travail sont des pastilles circulaires de diamètre 50mm conformément à la norme NF EN 24624(1542) [14], préconise carotter dans le revêtement tout autour de la pastille jusqu'au substrat +2cm, à l'aide d'une carotteuse (Figure3-33). Pour le collage entre la pastille et la surface du mortier carotté nous avons utilisés Sika dure 31-CF (Figure3-35). La force appliquée sur la pastille est progressivement augmentée à une vitesse constante, jusqu'à une force maximale correspondant à la rupture. La contrainte d'arrachement est calculée comme le rapport de la force maximale sur la surface de la pastille.

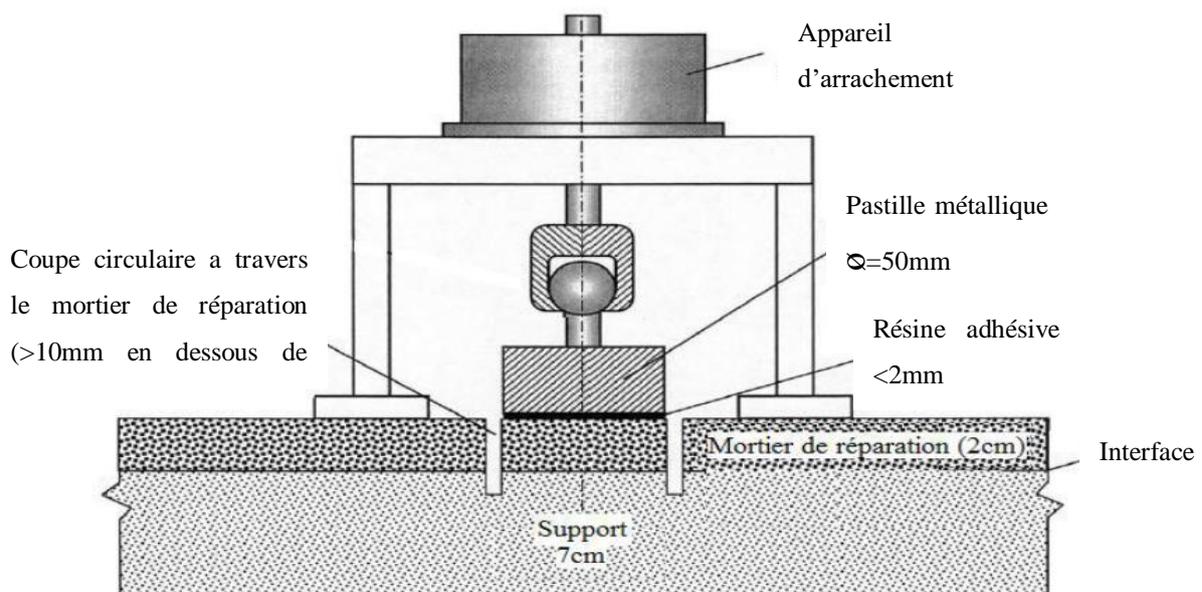


Figure 3-32: Schéma de l'appareil d'arrachement [3].



Figure 3-33: Carottage des dallâtes.



Figure 3-34: Essai d'adhérence par arrachement.



Figure 3-35: Sika dure 31 CF

3.6.4 La conductivité thermique :

La conductivité thermique λ ([W.m-1.K-1] ou [J.s-1.m-1.K-1]) est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors des transferts thermiques : c'est-à-dire la capacité d'un milieu à diffuser la chaleur sans mouvement macroscopique de matière, cette diffusion étant assurée de proche en proche par le transfert d'énergie d'un atome à son voisin. La conductivité thermique représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 K.m-1.

Le CT mètre est un appareil robuste et portatif avec une poignée qui est réglable. Il est composé d'une sonde de résistance 5,72 ohm.

Pour le matériau mesuré il faut deux échantillons plans de manière que la sonde soit prendre en sandwich, on range la sonde dans l'appareil, et on lance le logiciel d'acquisition pour procéder à la programmation de l'appareil.



Figure 3-36: Schéma illustrant le transfert thermique. La chaleur conduite par l'échantillon est imposée par une source et évacuée par un bain thermique.

3.6.5 Absorption capillaire :

Le transfert d'eau dans un matériau poreux, dû à des tensions de surface liquide/solide/gaz dans les pores capillaires, est appelé absorption d'eau par capillarité. L'absorption capillaire dépend de la structure poreuse (porosité ouverte, taille et interconnexion des pores) et de l'état hydrique du matériau.

Dans cet essai, des éprouvettes de mortier, non saturées, de $40 \times 40 \times 80 \text{ mm}^3$ sont préparés pour mesurer le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire.

Avant les mesures de sorptivité, les éprouvettes sont pré-conditionnées selon les recommandations de la procédure d'ASTM C1585 – 13[15]. Les éprouvettes réalisées ont été conservées dans une étuve ventilée à $60 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, jusqu'à ce que la variation de la masse entre deux pesées soit inférieure à 0.1%. Les faces latérales des éprouvettes ont été enduites par une

résine de type MedaPoxy colle, pour assurer l'écoulement unidirectionnel et éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée.

L'essai de l'absorption capillaire a été réalisé suite à ce pré-conditionnement. Les éprouvettes ont été émergées dans l'eau du récipient sur une hauteur maximale de 5 mm à l'aide des cales (Figure 3-37). A chaque échéance, les éprouvettes sont sorties du récipient, essuyées à l'aide d'une éponge, pesées puis relancées dans le récipient. Les échéances sont les suivantes : 1mn, 5mn, 10 mn, 20mn, 30mn, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h. 1j, 2j, 3j, 5j, 6j, 7j, 8j.



Figure 3-37:Essai d'absorption capillaire.

Le coefficient d'absorption capillaire est défini par l'équation suivante :

$$I = \frac{m\tau}{a \times b} \quad (3.3)$$

Où

I : Coefficient d'absorption capillaire (mm).

m τ : la différence de masse de l'éprouvette à une échéance donnée (g).

a : section de l'éprouvette (mm²).

d : densité de l'eau (g/mm³).

3.6.6 Porosité accessible à l'eau :

L'essai permet d'évaluer un volume de pores ouverts accessibles à l'eau. La porosité, notée ε (%), correspond au rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent. L'essai de porosité accessible à l'eau a été effectué selon la norme **NF P18-459**[16].

L'essai consiste à déterminer la masse d'un échantillon sec. Pour déterminer la masse sèche, les éprouvettes ont été séchées dans une étuve à une température de $80\pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à ce que deux pesées successives, avant et après 24h à l'étuve ne dépasse pas 0.1%. La masse M_{sec} de l'éprouvette est mesurée sur une balance au centième de gramme près. L'échantillon est placé dans une enceinte fermée (dessiccateur), sous une pression constante pendant 4 heures. Ensuite l'eau est introduite progressivement jusqu'à remplissage et l'échantillon soit recouvert d'environ 20mm d'eau, puis on déconnecte la pompe (Figure3-38). Il s'agit de la détermination par pesée de la masse apparente d'un échantillon du béton après immersion dans l'eau avec lequel il a été saturé sous vide. L'échantillon est maintenues dans la saturation pendant $18\pm 2\text{h}$, les éprouvettes ont été sorties du récipient et pesées dans l'eau et dans l'air avec une balance hydrostatique pour déterminer respectivement M_{eau} pour M_{air} .

La porosité accessible à l'eau, ε , est exprimée en pourcentage en volume, est donnée par l'équation :

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \times 100 \quad (3.5)$$

Ou :

M_{eau} : la masse du spécimen immergé dans l'eau,

M_{air} : la masse du spécimen pesé dans l'air,

M_{sec} : la masse du spécimen sec.

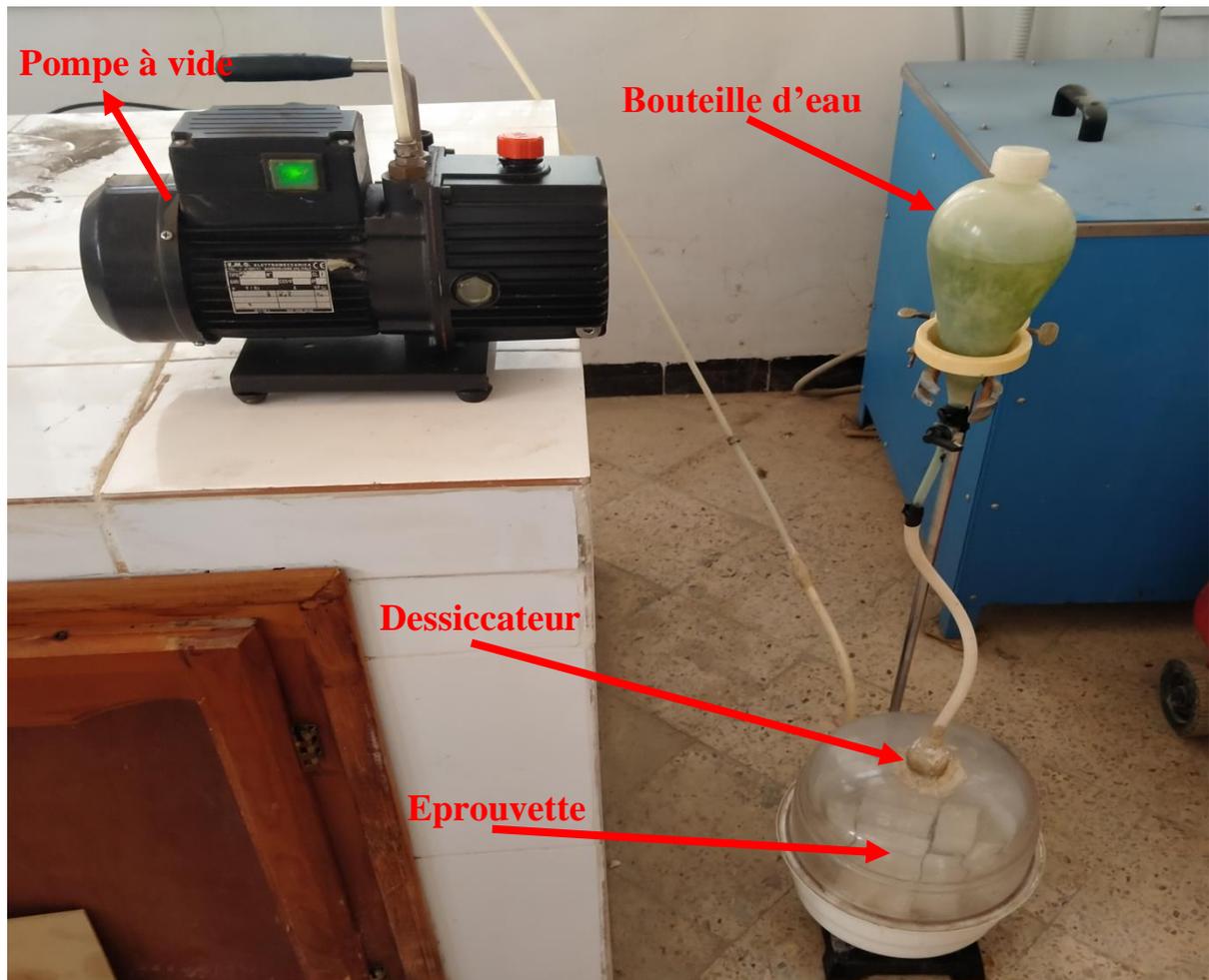


Figure 3-38: Dispositif de saturation sous vide des éprouvettes.

3.7 Résumé du plan expérimental :

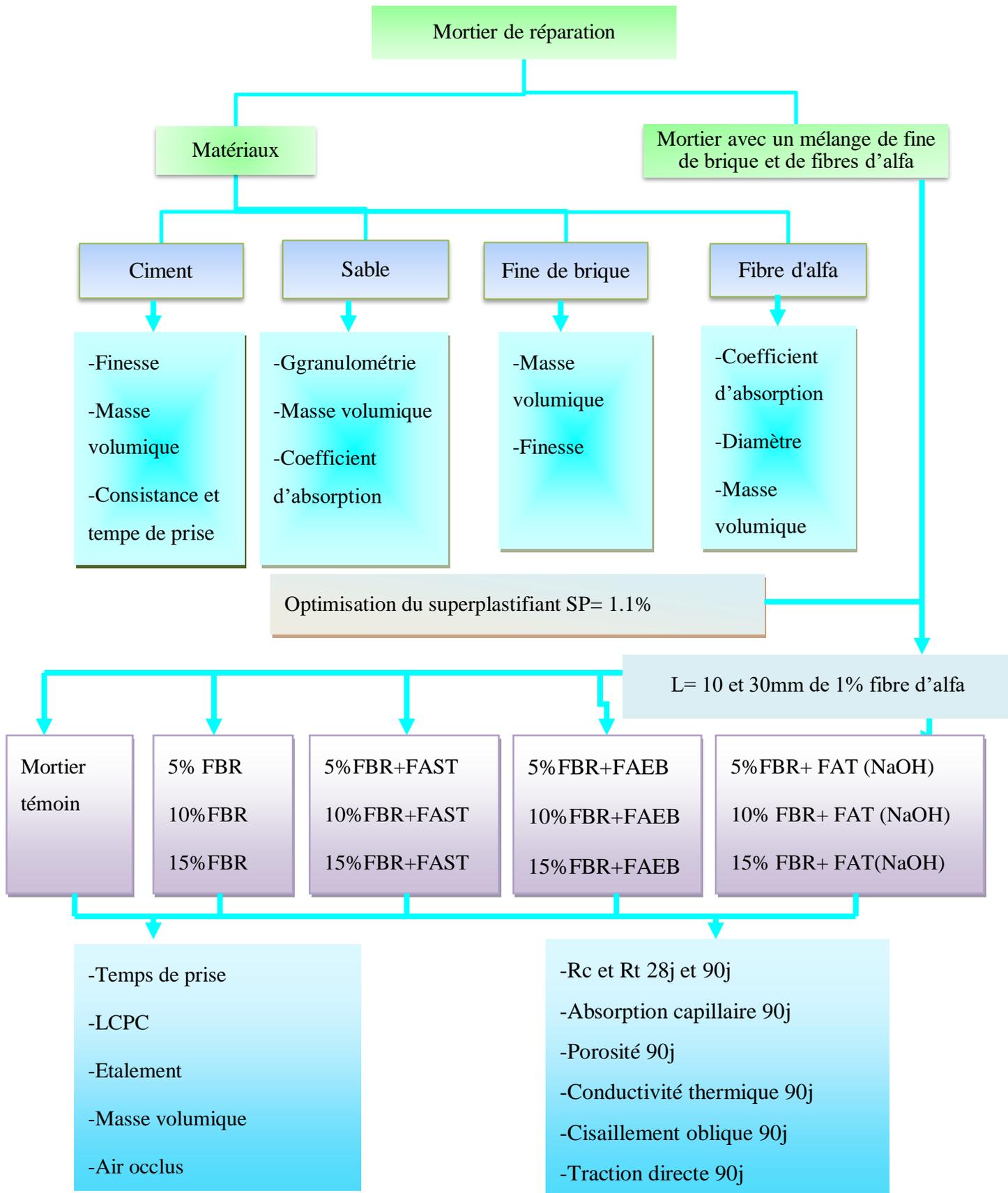


Figure 3-39: Essai réalisé sur matériaux et mortier.

References bibliographiques

- [1] S. Wild, A. Gailius, H. Hansen, L. Pederson, and J. Szwabowski, "Pozzolanic properties of a variety of European clay bricks: Comparative study of pozzolanic, chemical and physical properties of clay bricks in four European countries for utilization of pulverized waste clay brick in production of mortar and concrete," *Build. Res. Inf.*, vol. 25, no. 3, pp. 170–175, 1997, doi: 10.1080/096132197370435.
- [2] NBN EN 934-2+A1, "Adjuvants pour bétons, mortier et coulis - Partie 2 : Adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage," *Bur. Norm.*, vol. 3, 2012.
- [3] L. Medaflow, L. Medaflow, L. Medaflow, L. Bhp, O. Smar, and O. Smar, "Medaflow 30," vol. 81, no. 213, pp. 65–66, 2017.
- [4] D. B. Dittenber and H. V. S. Gangarao, "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 1419–1429, 2012, doi: 10.1016/j.compositesa.2011.11.019.
- [5] A. Kenai, M. Rezagui, "Performance structurelle d'un mortier de réparation cas: Slouclincker, université de blida1.," 2019.
- [6] A. KENAI et M. REZAGUI, "Thème PERFORMANCE STRUCTURELLE D ' UN MORTIER DE REPARATION : CAS D ' UN," 2019.
- [7] NF EN, "NF EN 196-3: Méthodes d'essais des ciments–Partie 3: Détermination du temps de prise et de la stabilité (March). Comité Européen de Normalisation, AFNOR, Paris FRANCE.," 2006.
- [8] NBN EN 12350-5, "Essais pour béton frais - Partie 5 : Essai d'étalement à la table à chocs," *Bur. Norm.*, 2009.
- [9] A. Pl, "NF P 18-452 Mesure du temps d ' écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres," no. 1, 1988.
- [10] NBN EN 1015-6, "Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 6: Détermination de la masse volumique apparente du mortier frais," 1998.
- [11] "Nf en 413-2," 2006.
- [12] "EN196-1, Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances a la compression et a la flexion d'un mortier, septembre 2016.," 2016.
- [13] "C882/C882M-20 Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear," 2020.
- [14] "NF EN 24624(1542), Essai pour béton durci – Essai d'adhérence par arrachement."
- [15] C. C. Test, T. Drilled, C. Ag-, C. Concrete, H. Concrete, and D. Mass, "ASTM C1585-13, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org," vol. 41, no. 147, pp. 1–6, 2013, doi: 10.1520/C1585-11.2.
- [16] AFNOR, "Nf P18-459," 2010.

Chapitre 4: Résultats et Analyse

4.1. Introduction :

Dans ce chapitre, sont reportés les résultats des essais sur l'effet de substitution de différents taux de fine de brique et les fibres d'alfa, sur le comportement des mortiers à l'état frais et durci.

4.2. Influence des fines de brique sur le début et fin de prise des pâtes:

Les essais de début et fin de prise, sont effectués sur des pâtes de ciment avec différents taux de substitution de ciment en FBR (0%, 5%, 10% et 15%), et une consistance normale constante pour l'ensemble des pâtes. Les résultats des essais sont présentés dans la Figure 4-1.

On remarque d'une manière générale que la prise est retardée en fonction de l'augmentation des taux de substitution de ciment par les FBR.

La Figure 4-1 montre l'influence de la substitution du ciment par les fines de déchets de brique sur la durée de début et de fin prise. On constate que plus le taux de substitution de ciment par les FBR augmente la durée de début et de fin de prise se prolongent. Le début et fin de prise pour la pâte de référence est de 173 min et 222 min respectivement. Le début et la fin de prise sont retardés d'environ 1 min et 23 min respectivement pour FBR5. Pour ceux du FBR10 le début et la fin de prise ont été prolongés respectivement de 4 min et 35 min. des retards similaires ont été enregistré pour le FBR15. Sachant que la norme autorise une tolérance d'erreur de plus au moins 5 minutes, ces résultats sont donc en accord avec ceux exposés par S.Mehmet et al.[1], qui ont conclu que lorsque le taux de remplacement du ciment par les FBR augmente, les temps de prise initiaux et finaux du béton augmentent. Ceci peut être expliqué, d'une part l'ajout de FBR qui produit un effet de dilution et réduit les produits d'hydratation du ciment, ce qui retarde le temps de prise, d'autre part, l'ajout de FBR peut avoir un effet de nucléation et favorisant la formation de produits d'hydratation dans le ciment [2].

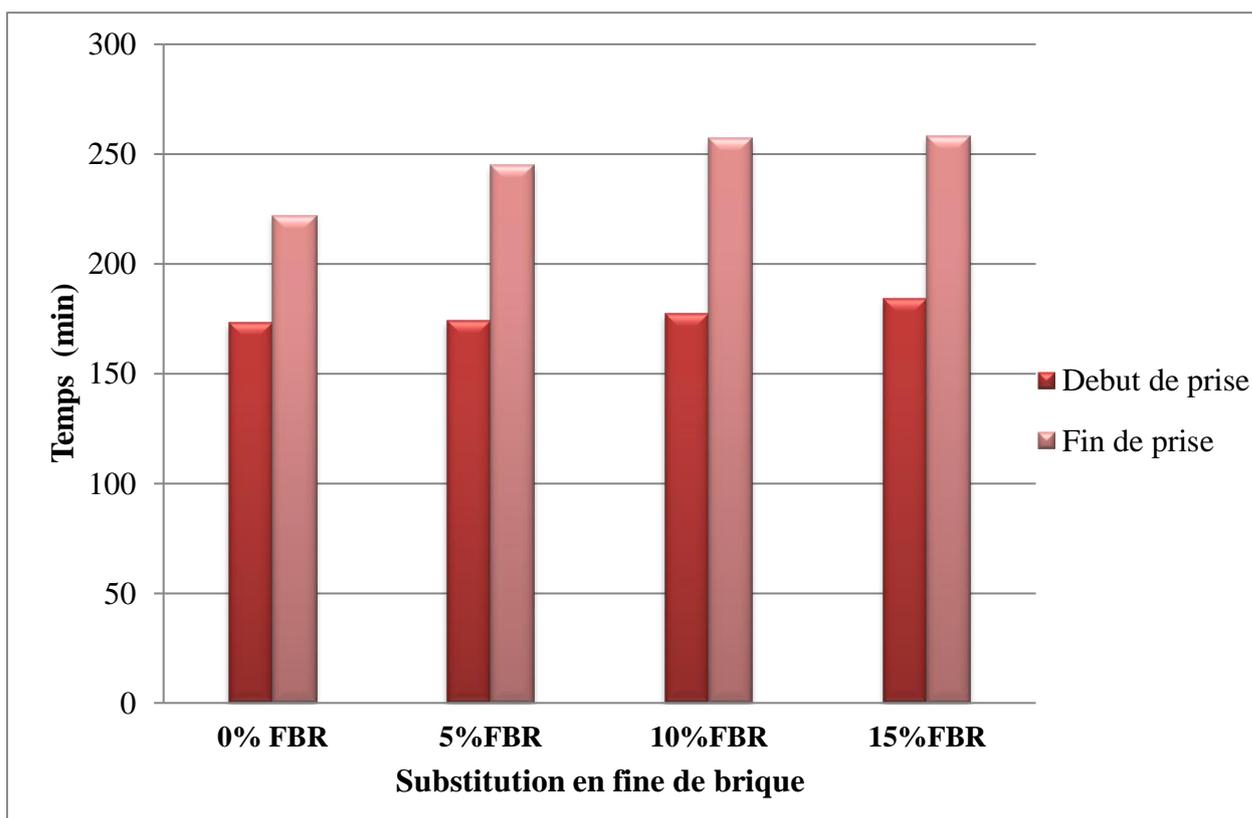


Figure 4-1: Influence des fines de brique sur le début et fin de prise des pates.

4.3. Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur l'état frais :

4.3.1. Étalement :

Les résultats d'essais de l'étalement sont donnés dans la Figure 4-2. Ces résultats montrent que l'incorporation des fines de brique à des taux de substitutions de 5%, 10% et 15% (i.e. FBR5, FBR10 et FBR15) de ciment réduit le diamètre d'étalement respectivement de 5,36%, 10,24% et 12,20% par rapport au mortier témoin (M0).

Ces résultats montrent que les fines de brique recyclées provoquent une légère perte d'ouvrabilité, qui conforme ce qui a été présenté par Bektas et al.[3] et par Debieb et Kenai [4] qui ont démontré une perte de fluidité proportionnelle aux taux de remplacement du sable par les déchets de briques. Q. Huang et al.[5] ont abouti aux mêmes résultats en utilisant les déchets de briques secs comme agrégats. Ce phénomène peut être expliqué par la capacité d'absorption importante de la brique du fait de sa porosité.

De plus, Il est visible sur la Figure 4-2 que l'ajout des fibres d'alfa (à 1% du volume global) découpées en 1 cm et 3 cm, cause une réduction de l'ouvrabilité du mortier. Cette réduction est légèrement accentuée par la taille des fibres (une réduction maximale de 16% pour les

fibres de 10 mm, celle-ci grimpe à plus de 17% pour les fibres de 3 cm). Ceci dit, les échantillons contenant 5% de déchets de brique mixés à des fibres de 1 cm préservent mieux l'ouvrabilité (une perte d'ouvrabilité moyenne de 6,1%).

La perte en ouvrabilité dû à l'ajout des fibres végétales a été constatée par plusieurs auteurs auparavant [6]–[8]. Cela a été attribué à la consommation excessive d'eau par les fibres pour remplir les vides dans les parois cellulaires secondaires. L'effet réducteur de la taille des fibres végétales sur l'ouvrabilité a également été constaté par S.Ajouguim et al.[9].

La Figure 4-2 met également en évidence l'effet du traitement des fibres d'alfa par l'eau bouillante ou par l'hydroxyde de sodium (NaOH). Il est visible que dans les deux cas de traitement, une perte d'ouvrabilité additionnelle, en comparaison aux mortiers contenant des fibres d'alfa non traitée, est enregistrée, elle peut excéder une réduction dépassant les 22% par rapport à l'échantillon témoin.

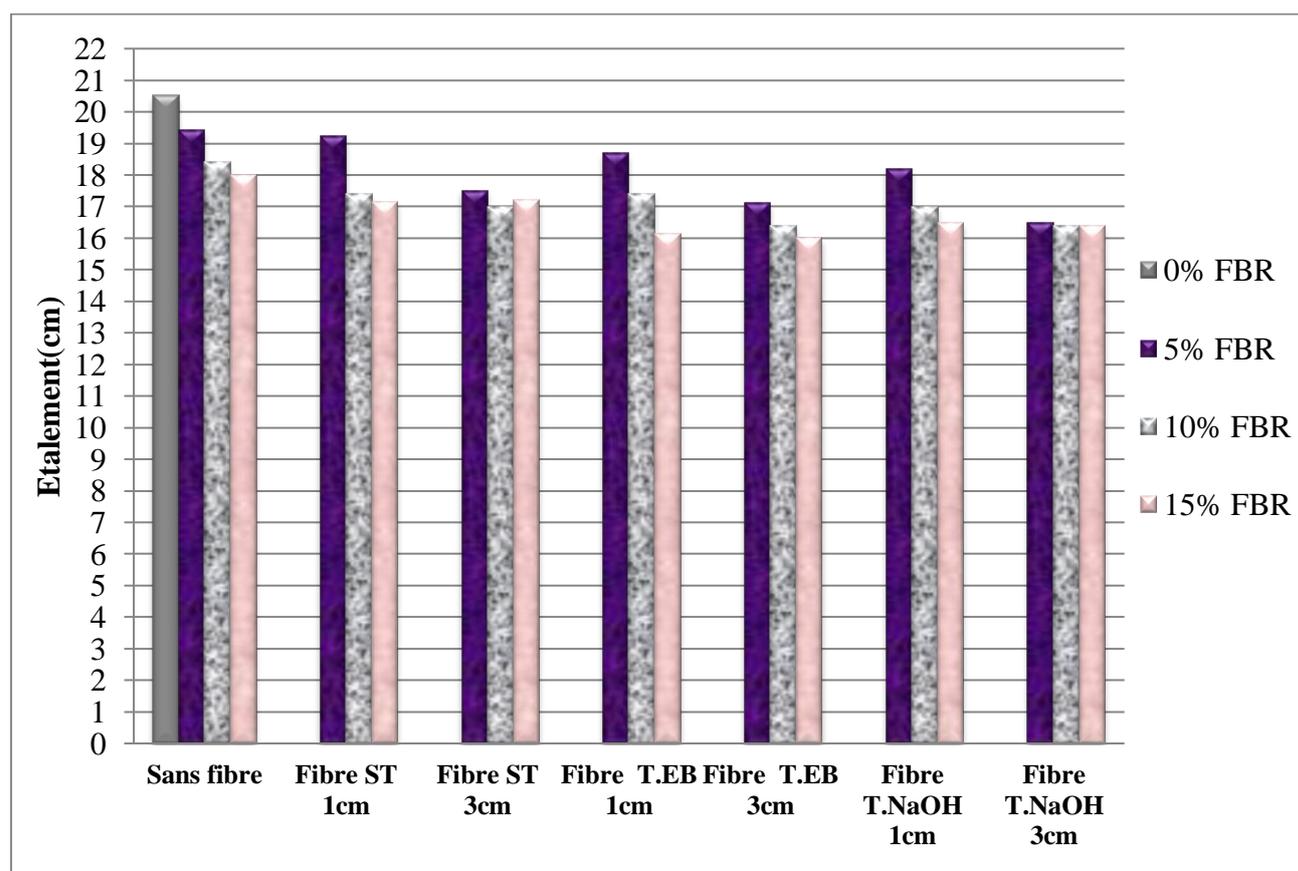


Figure 4-2:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur l'étalement des mortiers.

4.3.2. La maniabilité en LCPC:

Les résultats présentés dans la Figure 4-3 résument l'effet de l'ajout des fines de brique et des fibres d'alfa sur la maniabilité sous forme de calcul du temps d'écoulement des différents mortiers. En premier lieu, ces résultats montrent que l'incorporation des fines de brique augmente drastiquement le temps d'écoulement du mortier. Le temps d'écoulement passe de 3s (pour M0), à 4s (pour FBR5), à 9s (pour FBR10) et enfin à 12s (pour FBR15).

En deuxième lieu vient l'effet des fibres d'alfa qui suit le même comportement en augmentant le temps d'écoulement d'une manière très importante cette augmentation est 7 fois plus importante pour les fibres de 1cm ou encore 10 fois plus pour les fibres de 3cm (dans le cas du mortier FBR15). Le traitement des fibres par eau bouillante ou encore l'hydroxyde de sodium (NaOH) ne fait que prolonger d'avantage le temps d'écoulement.

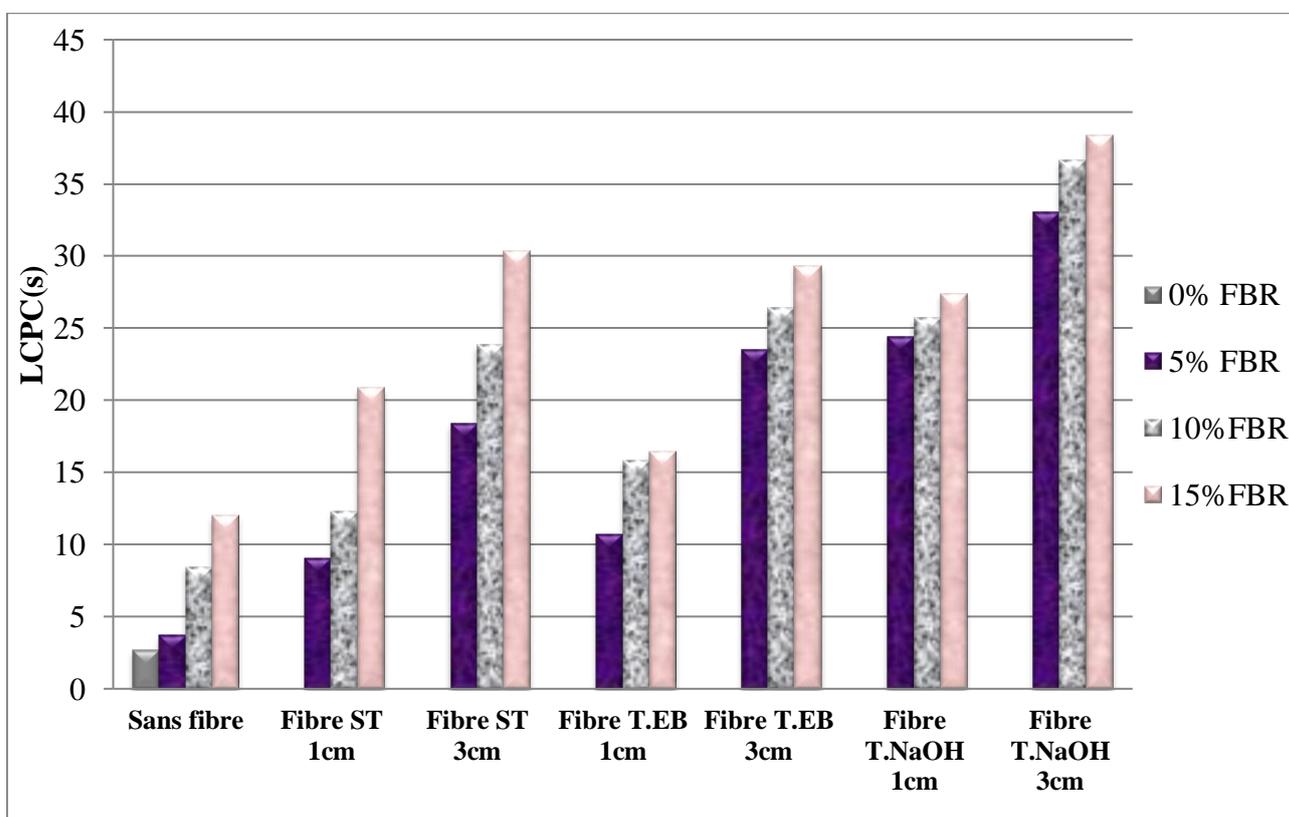


Figure 4-3:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la maniabilité en LCPC des mortiers.

Les 2 figures 4-(2, 3) résument les résultats des essais d'étalement et le temps d'écoulement, ces derniers sont des propriétés qui traduisent le comportement du mortier à l'état frais i.e. l'ouvrabilité et la maniabilité du mortier. Ces résultats montrent de l'effet négatif des ajouts

de fines de briques ou encore des fibres d'alfa sur l'ouvrabilité et la maniabilité du mortier, ceci consolide les conclusions des auteurs qui nous ont précédé [3]–[9].

4.3.3. Masse volumique:

La figure 4-4 présente l'effet de l'ajout des fines de briques ainsi que les fibres d'alfa sur la masse volumique du mortier. Les fines de brique causent une légère réduction de la masse volumique du mortier, cette réduction est proportionnelle à la contenance en fine de brique. L'incorporation des fines de brique à des taux de substitutions de 5%, 10% et 15% de ciment cause une réduction de masse volumique respectivement de 1.37%, 4.89% et 9.70% par rapport au mortier témoin. En contre partie, l'ajout des fibres d'alfa inverse l'effet des fines de briques en augmentant la masse volumique du mortier. Cet effet de la fibre d'alfa n'est pas visible dans le cas du FBR5 mais pour les autres cas (FBR10 et FBR15) l'augmentation de la masse volumique en ajoutant les fibres est très appréciable. Ceci dit, la densité du mortier témoin M0 reste la plus élevée et tout ajout (fines de briques ou fibres végétales) contribue à sa réduction.

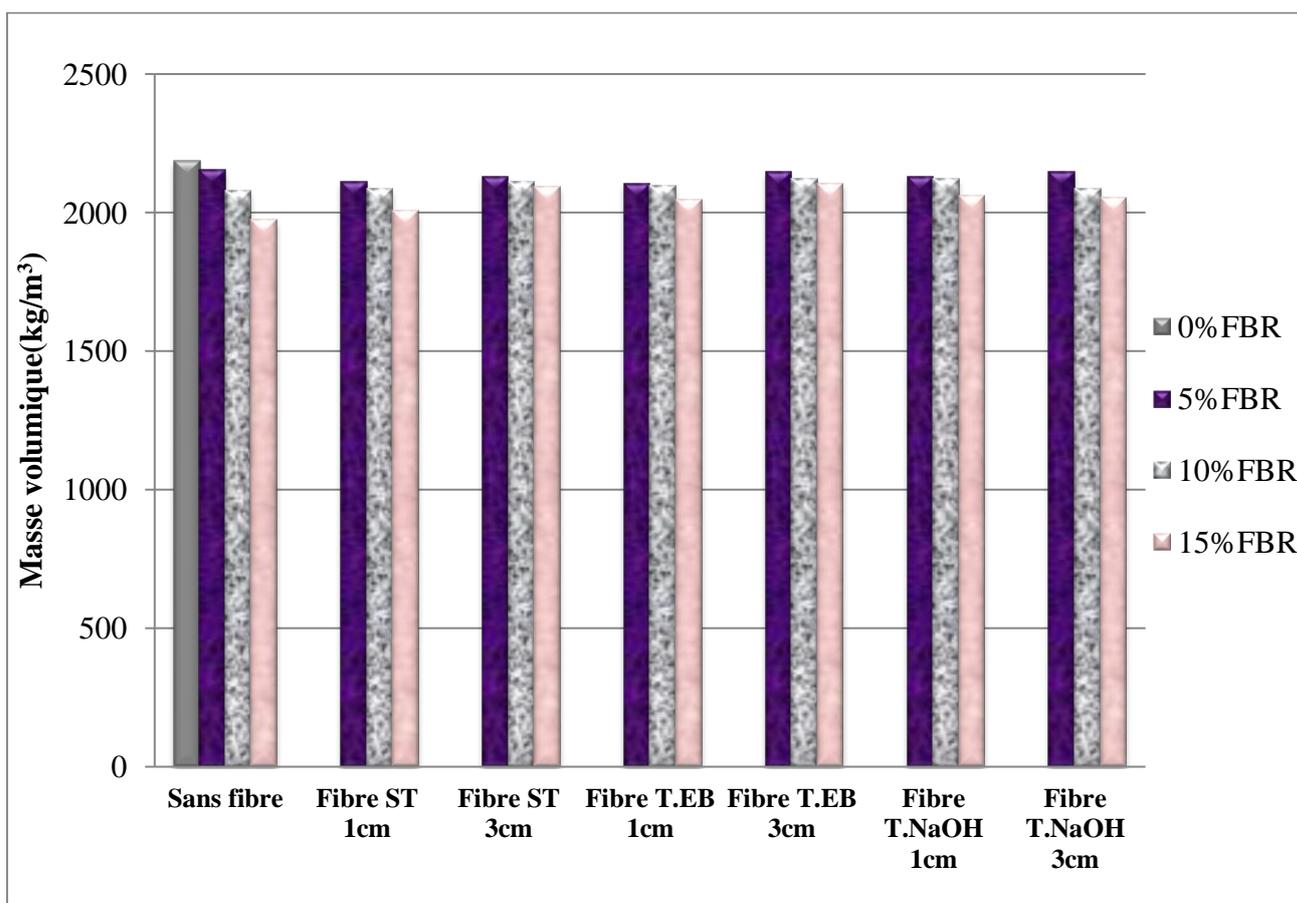


Figure 4-4:Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la masse volumique.

4.3.4. Air occlus:

La figure 4-5 résume les résultats de la mesure de l'air occlus dans les différents mortiers contenant des déchets de brique et des fibres d'Alfa. Le taux d'occlusion d'air suit une courbe décroissante en fonction de la contenance en fines de briques, elle passe de 8,8% pour le M0 à 8% pour le FBR5 puis à 7.9% pour le FBR10 et enfin 7.5% pour le FBR15.

L'ajout des fibres d'alfa non traitées augmente l'occlusion d'air en comparaison aux mortiers contenant uniquement des fines de brique. Cependant, l'effet des fibres d'alfa traitées, que ce soit hydrothermalement ou à l'alcalin n'est pas facile à cerner, dans certains cas nous constatons une augmentation mais dans d'autres une diminution de l'occlusion d'air est constatée.

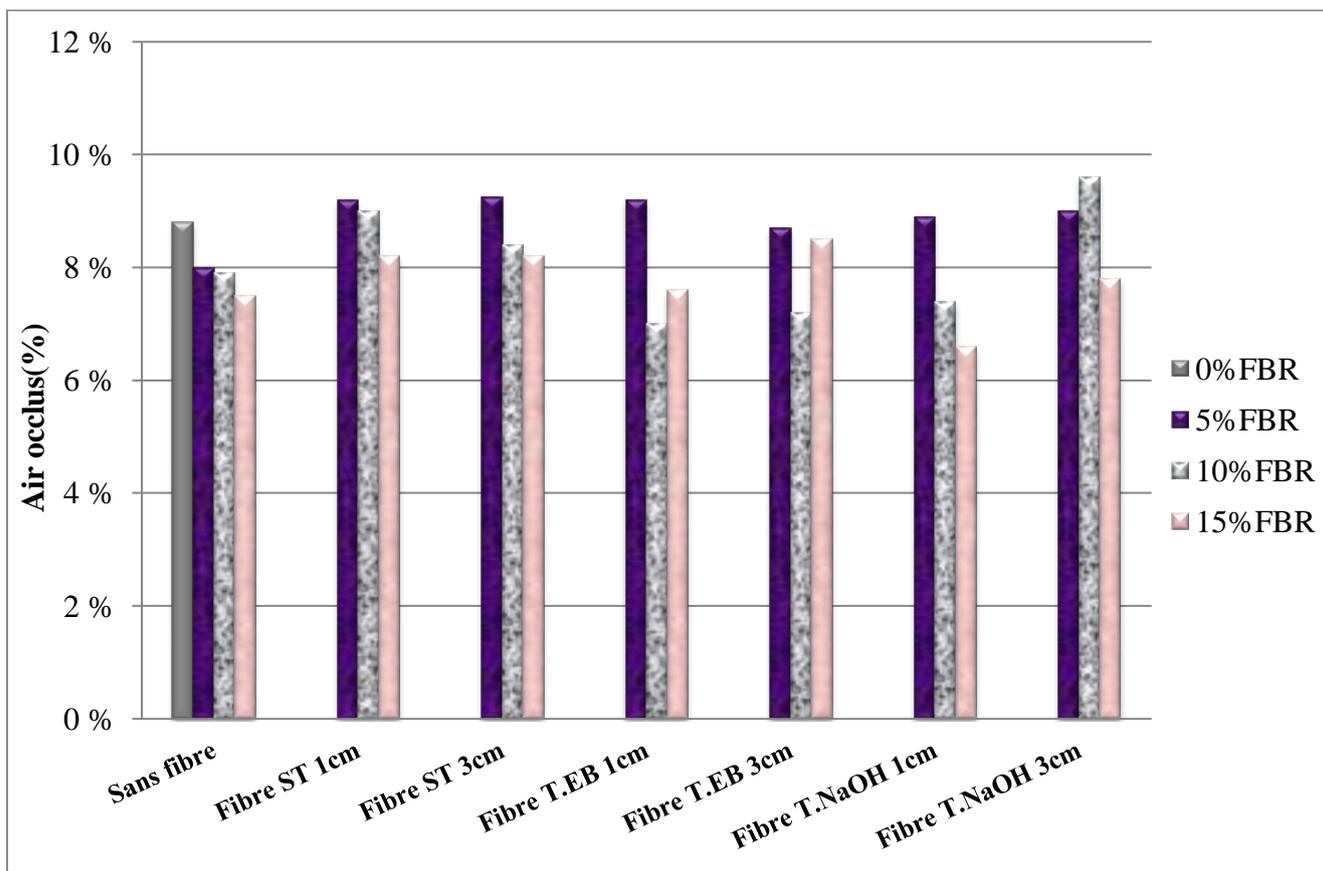


Figure 4-5: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur air occlus des mortiers.

4.4. Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur l'état durci:

4.4.1. Résistance à la compression :

Les résultats présentés sur les Figure 4-(6, 7) résumant l'effet des fines de brique et des fibres d'alfa sur la résistance à la compression. Ces tests ont été menés sur des éprouvettes après 28 jours et à 90 jours de maturation.

L'effet des fines de brique recyclées est visible sur les échantillons sans fibres, la Figure 4-6 montre que la résistance à la compression enregistre une perte inversement proportionnelle à la teneur en fines briques. La résistance passe de 48 MPa pour le M0 à 44MPa pour le FBR5 à 36MPa pour FBR10 puis à 31MPa pour le FBR15. Soit une perte assez importante de 9.6%, 25% et 37% respectivement par rapport au témoin M0.

Les résultats des tests de compression après 90 jours de maturation (Figure 4-7), connaissent une légère augmentation de la résistance en réduisant ainsi la perte par rapport au témoin, soit 6,6%, 18,4% et 21,2% pour le FBR5, le FBR10 et le FBR15 respectivement (au lieu de 9.6%, 25% et 37% respectivement).

L'ajout des fibres d'alfa non traitées cause une réduction supplémentaire à la résistance en compression que ce soit à 28 jours ou à 90 jours de maturation bien qu'une nette amélioration à 90 jours est enregistrée mais elle reste insuffisante pour rétablir les valeurs de résistance des mortiers sans fibres (Figures4-(6, 7)).

Il est clair de la Figure 4-6, qu'à 28 jours, les mortiers contenant des fibres d'alfa non traitées de 3cm exhibent une meilleure résistance à la compression que ceux qui contiennent des fibres de 1 cm. Par contre à 90 jours la situation s'inverse et ceux de 1 cm reprennent une meilleure résistance.

Parmi les tests à fibre d'alfa traitée ou non traitée (que ce soit hydrothermalement ou à l'alcali), les résultats des échantillons contenant des fibres de 1 cm traitées hydrothermalement montrent les meilleurs résultats en termes de résistance à la compression qui peuvent excéder ceux des mortiers sans fibres.

Ceci dit, dans tous les cas, tout ajout des fines de briques ou des fibres contribue à la réduction de la résistance à la compression. La comparaison aux travaux précédents dans la littérature, il est difficile de former une concordance. Khatib [10] a rapporté que la réduction insignifiante de la résistance à la compression avec la substitution des agrégats par le déchet

de brique, cette perte reste insignifiante, elle est inférieure à 4%. En contrepartie, Bektas et al. [3] ont démontré que la substitution des granulats par les déchets de brique jusqu'à un taux 20% ne génère aucune perte de résistance sur les mortiers. Ou encore, Debieb et Kenai [4] ont enregistré une perte de résistance qui varie de 5% à 10% pour un taux de substitution en déchets de brique de 25% et qui continue de grimper avec l'augmentation du taux de fines de briques.

En ce qui est des fibres d'alfa, les études menées par Bouguerra et al. [11] et S. Ajouguim et al. [9] ont conclu que leur présence dans le mortier cause une réduction de la résistance à la compression ce qui consolide nos aboutissements.

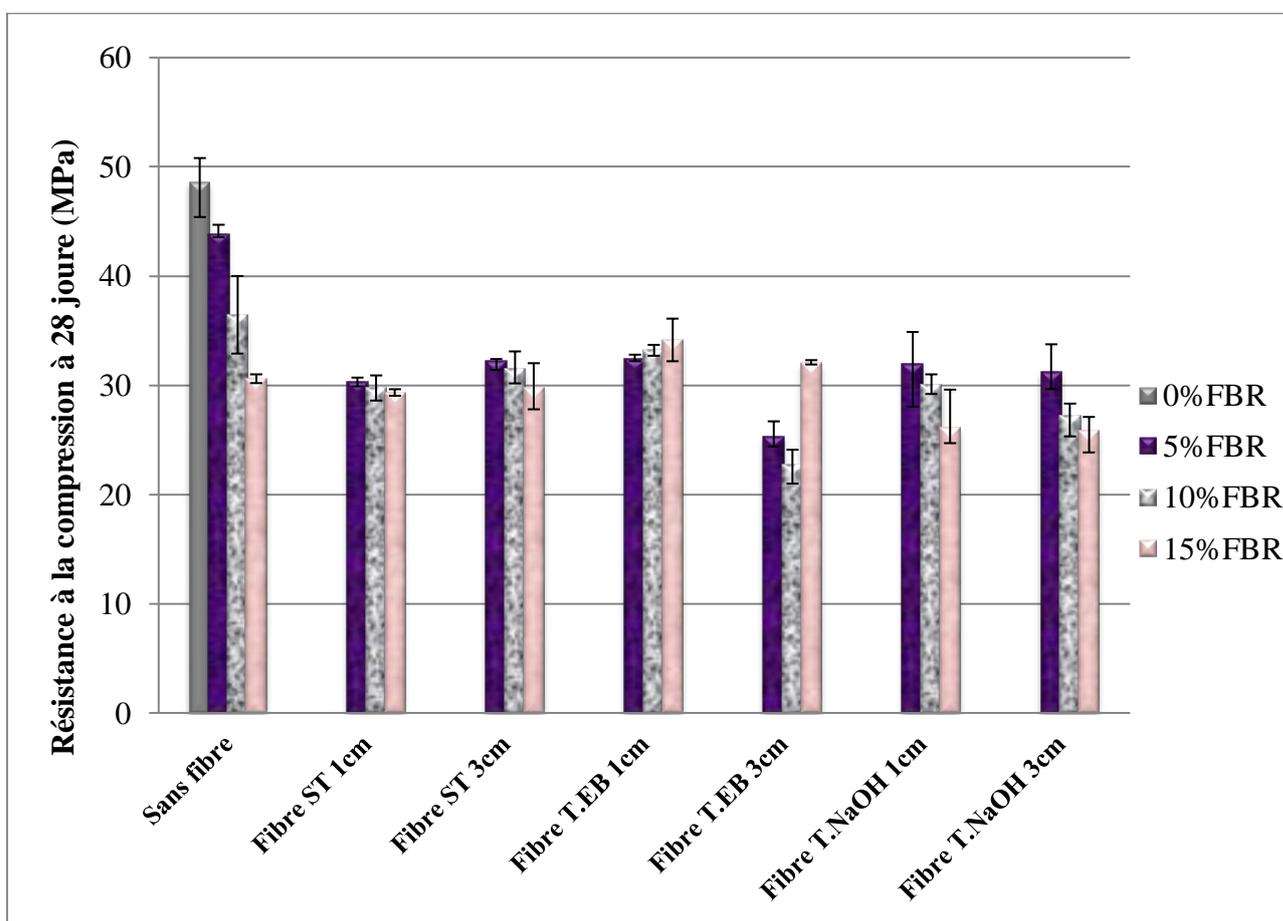


Figure 4-6: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la résistance à la compression des mortiers à 28 jours.

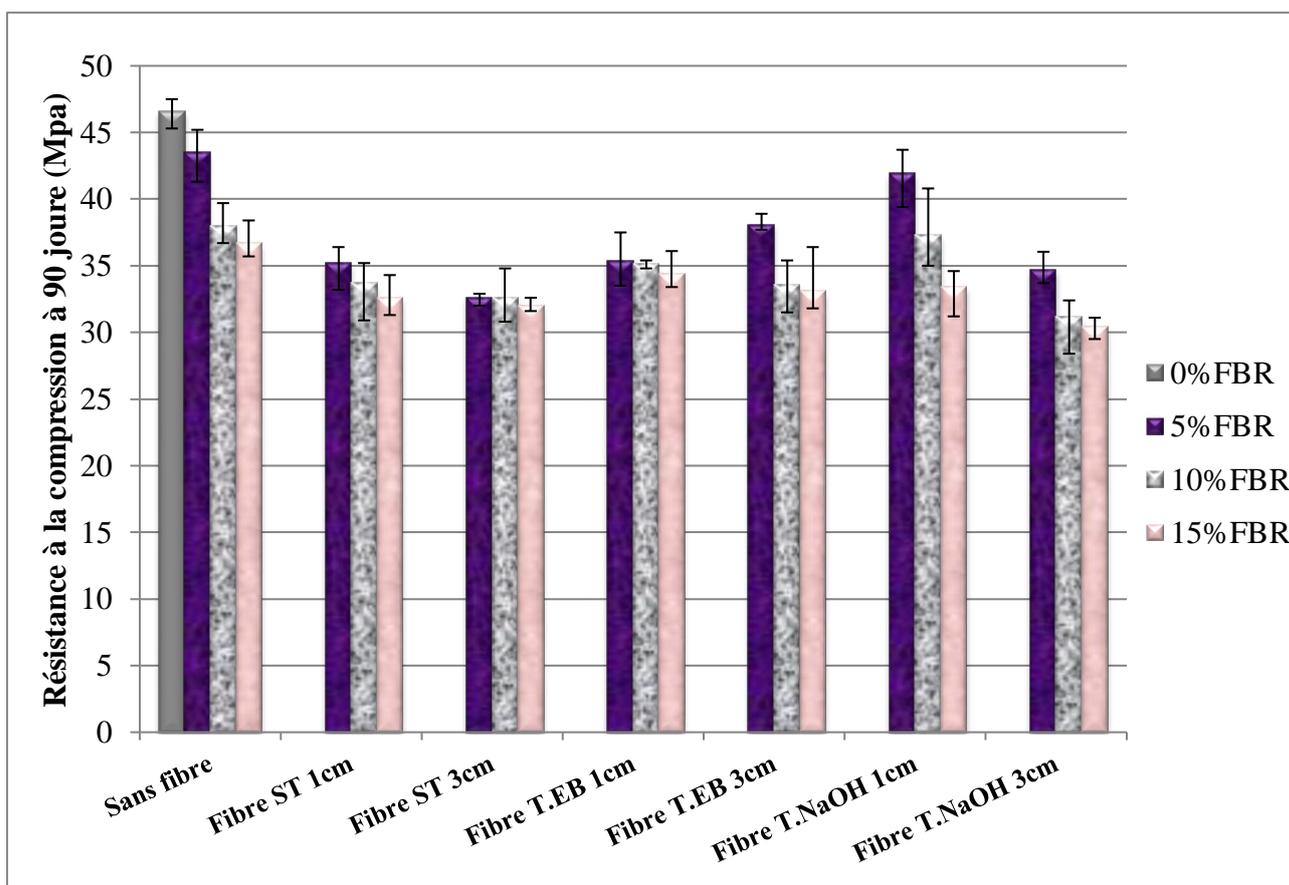


Figure 4-7: Influence des fines de brique et les fibres d’alfa sur la résistance à la compression des mortiers à 90 jours.

4.4.2. Résistance à la flexion :

Les Figures 4-(8, 9) résument les résultats des tests de flexion auxquels étaient soumis tous les échantillons à 28 jours, puis à 90 jours de maturation. Le remplacement du ciment par les fines de briques recyclées réduit d’une manière visible la résistance à la flexion du mortier à 28 jours de maturation (Figure 4-8). Cette réduction présente une tendance décroissante avec l’augmentation du taux de remplacement. La perte par rapport au mortier témoin est de 9%, 13% et 19% pour le FBR5, FBR10 et FBR15 (sans fibres) respectivement. A 90 jours, les résultats (Figure 4-9) montrent que l’écart entre le témoin M0 et les FBR (sans fibres) se renferme avec des pertes de 0% pour le FBR5 et 9% pour les deux autres (FBR10 et FBR15). La comparaison à la littérature a conduit que certains auteurs ont conclu que l’effet des fines de brique améliore le comportement en flexion [5] et [12][13], et d’autres ont trouvé que l’effet des fines de briques réduit la résistance à la flexion [14] et [15].

L’effet des fibres d’alfa non traitées, reste réducteur à la résistance à la flexion à 28 jours avec une perte qui peut atteindre les 35% par rapport au témoin M0, pour les 2 longueurs de fibres

(1cm ou 3 cm). Cette tendance s'inverse à 90 jours et enregistre une perte beaucoup plus basse, ne dépassant pas 14% par rapport au témoin M0, ce qui reste négligeable en comparaison aux échantillons sans fibres.

L'inclusion des fibres d'alfa traitées hydrothermalement, reste aussi réductrice à la flexion à 28 jours par rapport au mortier témoin, pour les deux longueurs (1 cm et 3 cm), avec une tendance décroissante pour les substitutions (FBR5, FBR10, et FBR15) respectivement. Mais aussi elle donne de meilleur résultat par rapport à celle non traité. À 90 jours de maturation la fibre traitée hydrothermalement enregistre une perte beaucoup plus basse par rapport aux témoins.

Ce qui est marquant est l'effet du traitement des fibres à l'alcalin qui a amélioré la résistance à la flexion à 28 jours et nettement supérieur à 90 jours par rapport à celle des échantillons sans fibres ou avec des fibres (Figures 4-8). À 90 jours de maturation le meilleur résultat de résistance à la flexion à été enregistré par les fibres de 1cm traitées à l'alcali, à une substitution de 5% en FBR, quia dépassé celle de M0, avec une amélioration de 3%. Ce qui et en collaboration avec l'étude de Alvarez et al.[16] que le traitement alcalin était l'un des plus courants et efficace parmi les autres traitements. Les fibres ont été traitées pour améliorer l'adhésion à la matrice, ce qui était une condition pour obtenir une bonne résistance mécanique du composite.

Il est clairement visible sur la Figure 4-10 l'effet de traitement des fibres sur la matrice. Les fibres traitées que ce soit hydrothermalement ou à alcalin se découpent pendant les essais de résistance à la flexion. Contrairement aux fibres non traitées qui se glissent par rapport à la matrice. Ce la veut dire que le traitement des fibres améliore la cohésion entre les fibres et la matrice.

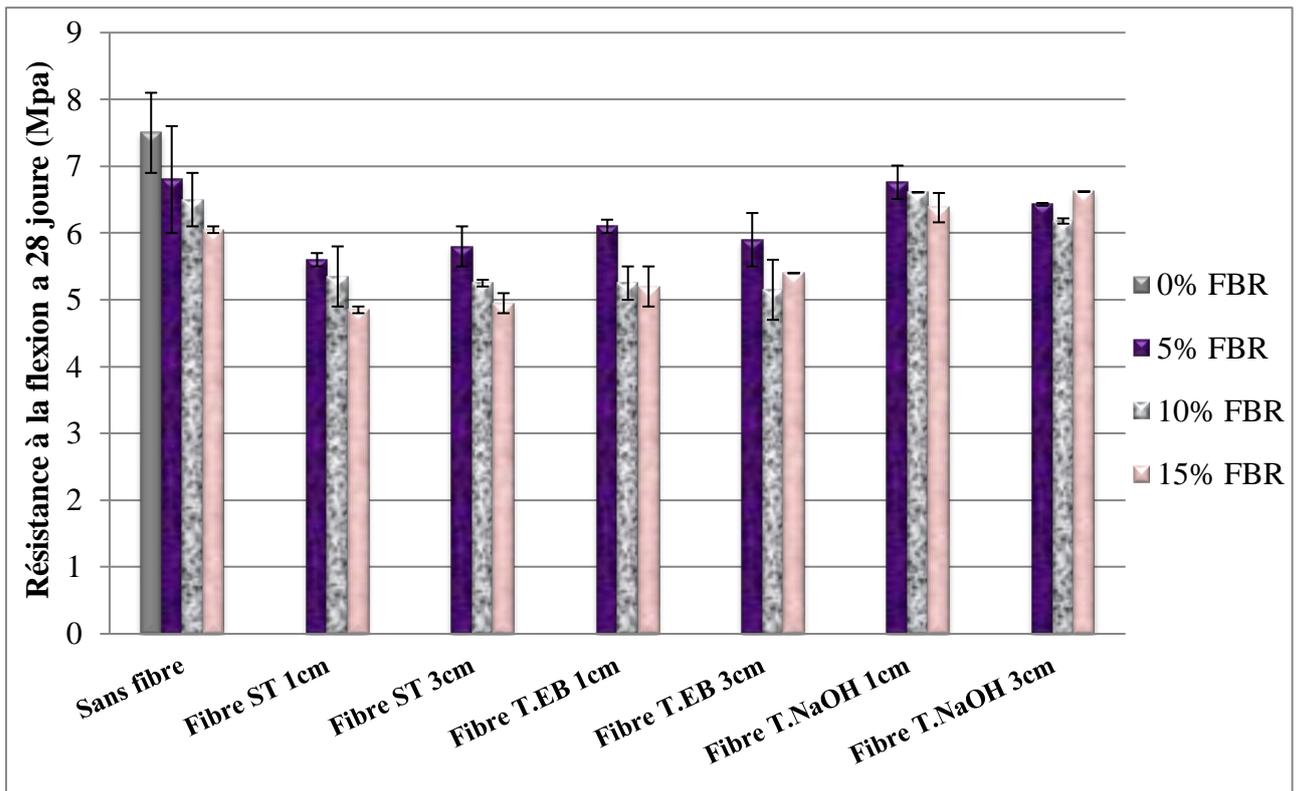


Figure 4-8: Influence des fines de brique et les fibres d’alfa sur la résistance à la flexion des mortiers à 28 jours

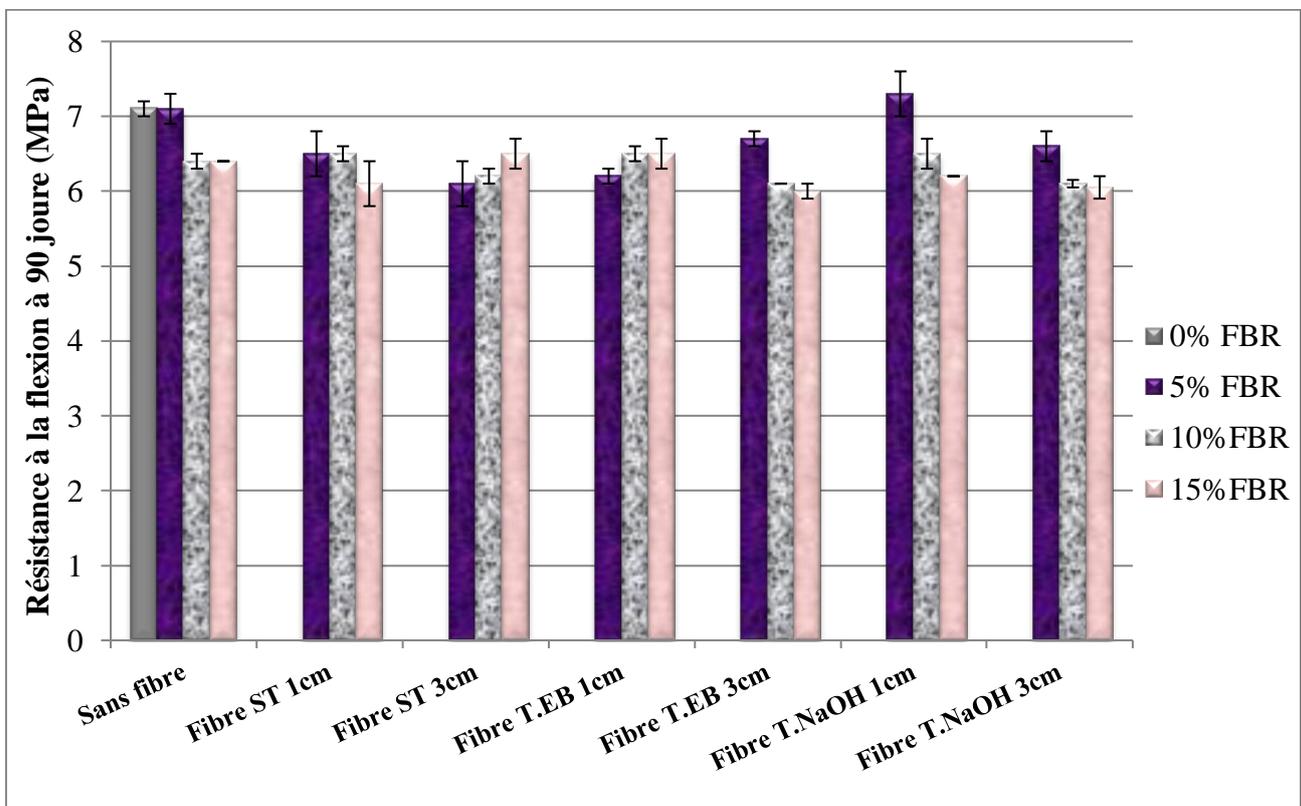


Figure 4-9: Influence des fines de brique et les fibres d’alfa sur la résistance à la flexion des mortiers à 90 jours.



Figure 4-10: Adhésion des fibres d'alfa à la matrice, A) fibre ST ; B) Fibre T.EB ; C) Fibre T.NaOH.

4.4.3. Porosité :

Les effets de l'ajout des FBR et fibres d'alfa sur la porosité du mortier sont résumés sur la Figure 4-11. L'incorporation des fines de briques augmente de manière considérable la porosité du mortier. Cette dernière passe de 21% pour le M0 à 22.7% pour le FBR5 puis à 24% pour le FBR10 et en fin à 24.8% pour le FBR15. Ce résultat est conforme avec celui de Gonçalves et al. [17] qui ont conclu que les déchets de briques provoquent une augmentation de la porosité totale par rapport aux mortiers témoins. Ils ont associé cette augmentation à la réduction du volume total des hydrates formés en comparaison avec les hydrates des mortiers témoins.

En contre partie, les fibres d'alfa non traitées ont un effet réducteur en général, par rapport aux échantillons sans fibre. Il faut mentionner aussi que les mortiers contenant des fibres de 3 cm traitées engendrent une diminution de la porosité. Ce résultat n'est pas en direct accord avec les recherches menées par S. Ajouguim et al.[9] qui ont conclu que l'augmentation du contenu en fibres entraîne une plus grande porosité du mortier. Ce résultat consolide les travaux antérieurs[18], [19].

Ce qui est plus marquant encore, c'est l'effet du traitement des fibres qui réduit la porosité d'une manière très remarquable surtout hydrothermalement, la réduction à atteint les 58% par rapport au témoin M0 (dans le cas FBR5 a fibres de 1cm).

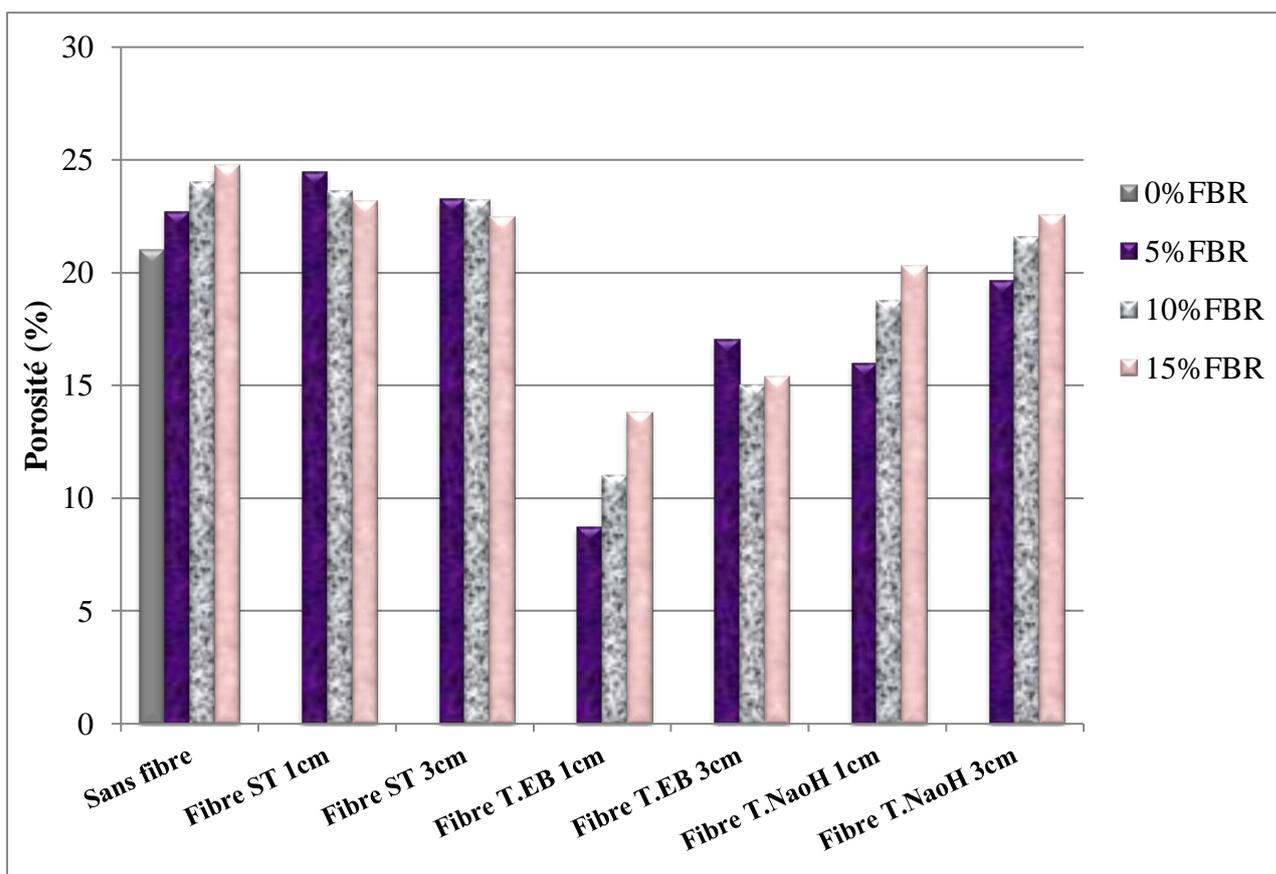


Figure 4-11: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la porosité des mortiers.

4.4.4. Essai d'adhérence par cisaillement oblique :

Les résultats sur la Figure 4-12 explique que l'intégration des fines de brique et les fibres d'alfa augmentent la contrainte d'adhérence par cisaillement à 90 jours. A chaque fois le taux de remplacement en FBR augmente de (5%, 10% et 15%), la contrainte de cisaillement augmente respectivement (3%, 13%, et 47%), par rapport au mortier témoin (M0).

L'ajout des fibres d'alfa (à 1% du volume global) découpées en 1 cm dans des mortiers substitués en fine de brique (FBR5, FBR10 et FBR15), cause une légère augmentation de la contrainte de cisaillement qui ne dépasse pas les 11% par rapport à celle des mortiers sans fibres. Par contre l'incorporation des fibres de 3 cm de longueur, provoque une petite diminution de la contrainte de cisaillement qui est environ 9% par rapport à celle des mortiers sans fibres.

Ce qui est marquant est l'effet du traitement des fibres hydrothermalement ou à l'alcalin, ça a amélioré la contrainte d'adhérence par cisaillement à 90 jours qui peut dépasser les 80% à celle des échantillons sans fibres ou avec des fibres. Mais cette augmentation à une tendance

décroissante pour les substitutions en FBR (5%, 10%, et 15%) respectivement (Figure 4-12). Il est clairement visible que dans les deux cas de traitement, une amélioration importante, en comparaison aux mortiers contenant des fibres d'alfa non traitée, elle peut excéder une augmentation dépassant l'échantillon témoin. L'échantillon qui contient 5% des fines de brique et 1cm des fibres d'alfa à marquer le meilleur résultat, avec une contrainte d'adhérence 38.6MPa.

Ces résultats montrent que les fibres en générale provoquent une légère augmentation de la contrainte d'adhérence par cisaillement, qui conforme ce qui a été présenté par qui ont remarqué que les spécimens de réparation en mortier ordinaire ont montré un mode de rupture fragile, de type explosif, tandis que les spécimens de réparation en mortier renforcé par des fibres présentent une rupture plus ductile. Ceci indique clairement que la rupture de l'interface dans le cas des mortiers renforcés par des fibres était lente et avec une ductilité significative. La Figure 4-13 peut confirmer visuellement les résultat présenté par C. Zanotti et al.[20].

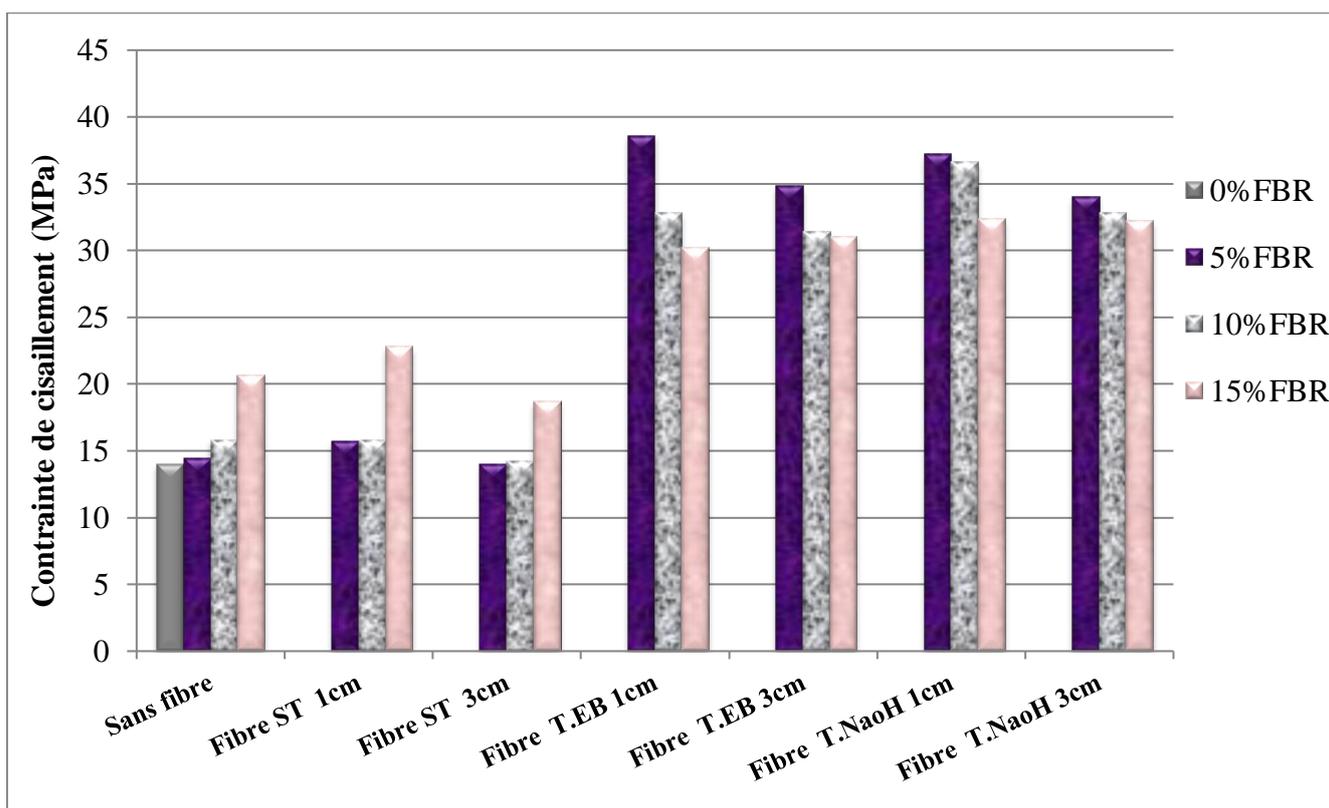


Figure 4-12: Influence des fines de brique et les fibres d'alfa sur la contrainte d'adhérence par cisaillement.



Figure 4-13: spécimens cylindrique après l'essai d'adhérence par cisaillement oblique; A)- spécimens de réparation en mortier sans fibres; B)- les spécimens de réparation en mortier renforcé par des fibres d'alfa.

4.4.5. Absorption capillaire:

Les Figures 4-(14, 15, 16, 17) mettent en avant les résultats d'absorption capillaire pour l'ensemble des paramètres évalués en fonction des taux de fines de briques (5%, 10% ,15%) et les fibres d'alfa traitées et non traitées avec des longueurs différent (10mm ,30mm).

C'est assez remarquable sur la Figure 4-14 que l'absorption d'eau capillaire augmente avec l'augmentation du dosage en fine de brique recyclée surtout durant les premières 6 heures d'essai. Les valeurs obtenues de sorptivité des gros pores (Figure 4-18) pour M0, FBR5, FBR10 et FBR15 sont respectivement de 4, 7, 9 et 10($\text{mm/s}^{1/2}$) $\times 10^{-3}$. L'absorption capillaire diminue d'une manière progressive durant 8 jours d'essai, qui la suit une diminution remarquable sur les valeurs obtenues de sorptivité des petits pores (Figure 4-19) par rapport ceux des gros pores.

Ce même constat a été consolidé par les résultat obtenus par Zhi Ge et al.[21], et par Qian Huang et al.[5], qui ont montré que l'absorption d'eau des mortiers recyclés augmente d'une manière très apparente pendant la première heure puis cette absorption diminue d'une manière progressive pendant une longue durée. Selon Qian Huang et al.[5] cela pourrait être lié à la diminution de la force de succion capillaire avec l'augmentation de l'humidité intérieure des mortiers.

L'ajout des fibres d'alfa (à 1% du volume global) sans traitement ou traité hydrothermalement découpées en 1 ou 3 cm dans des mortiers substitués en fine de brique FBR5, FBR10 et FBR15 (Figure 4-(15, 16)), cause une diminution de l'absorption capillaire par rapport à celle des mortiers sans fibres. Mais aussi ce résultats reste supérieur à ce de mortier M0 durant les première 6 heures et les seconds 8 jours. Les valeurs obtenues de sorptivité des grands pores et des petits pores (Figure 4-(18, 19)) confirment les résultats d'absorption capillaire présenter sur les Figures 4- 15, 16. Ces résultats sont en accord avec les résultats des enquêtes menées par Niu et al.[22] qui ont rapporté que l'ajout d'une quantité appropriée de fibre au béton/mortier peut conduire à une réduction significative de l'absorption d'eau du béton/mortier. D'autres travaux de recherche ont prouvé que le caractère hydrophile des fibres naturelles influence fortement sur la capacité d'absorption d'eau d'une matrice renforcée par des fibres naturelles[23], [24]. À cet égard, des traitements des fibres ont été recommandés afin de réduire le contenu amorphe, causant ce comportement.

Ce qui est marquant plus est l'effet du traitement des fibres à l'alcali (Figure 4-17), ça a diminué l'absorption capillaire par rapport au mortier M0 pour les premières 6 heures et pour les seconds 8 jours. Les valeurs de la sorptivité obtenue sur les Figure 4- 18, 19 assurent les résultats obtenue de l'absorption capillaire avec une diminution de sorptivité des gros pores qui dépasse les 25%, et celle des petits pores qui dépasse les 50% par rapport au mortier M0. Ce même constat et en collaboration avec les résultat de S. Ajouguim et al.[25] qui ont approuvé que l'absorption d'eau par capillarité a été réduite lors de l'utilisation des fibres Alfa traitées. En fait, le niveau d'eau est principalement constant après 24 heures. À l'inverse, le composite renforcé par des fibres d'alfa non traité fournit un apport d'eau important. Ce comportement pourrait être attribué à la diminution du vide capillaire des fibres due aux traitements alcalins [26]–[29].

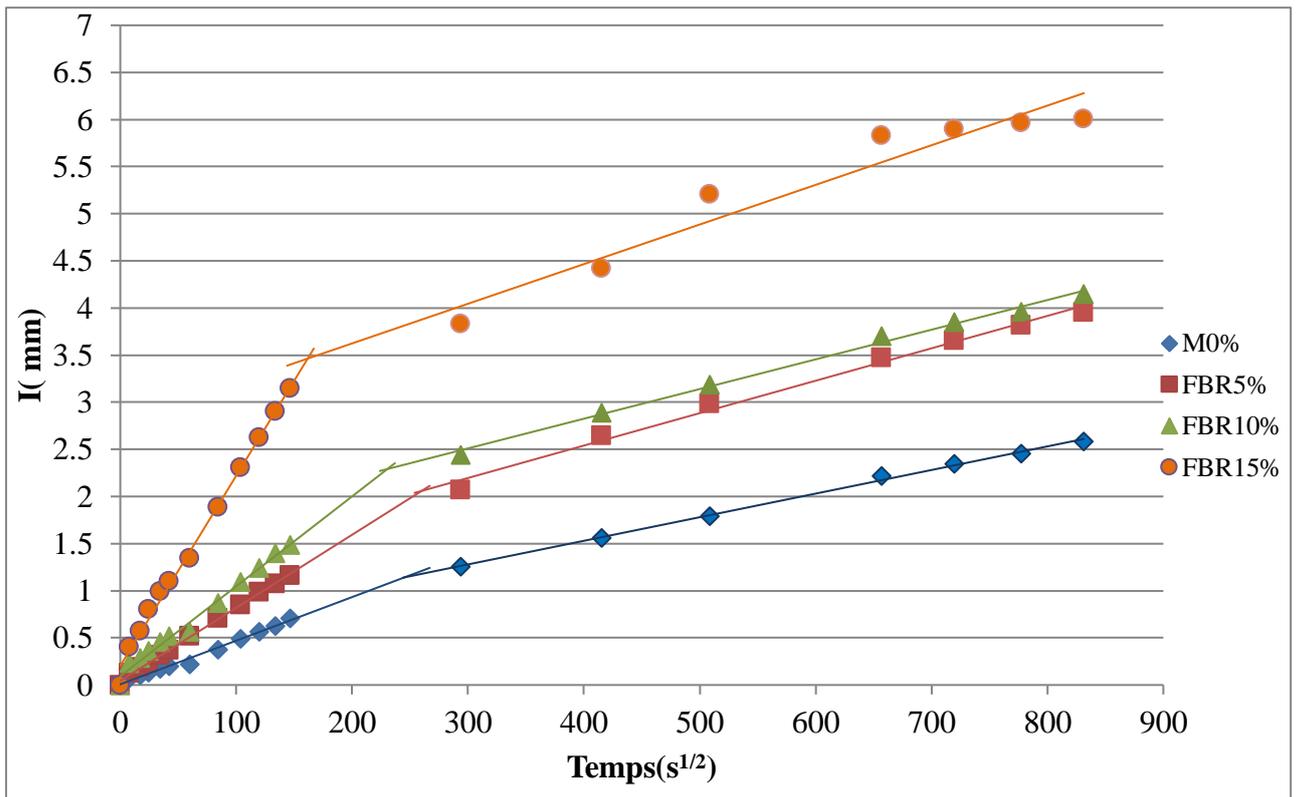


Figure 4-14: Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR pondent 8 jours.

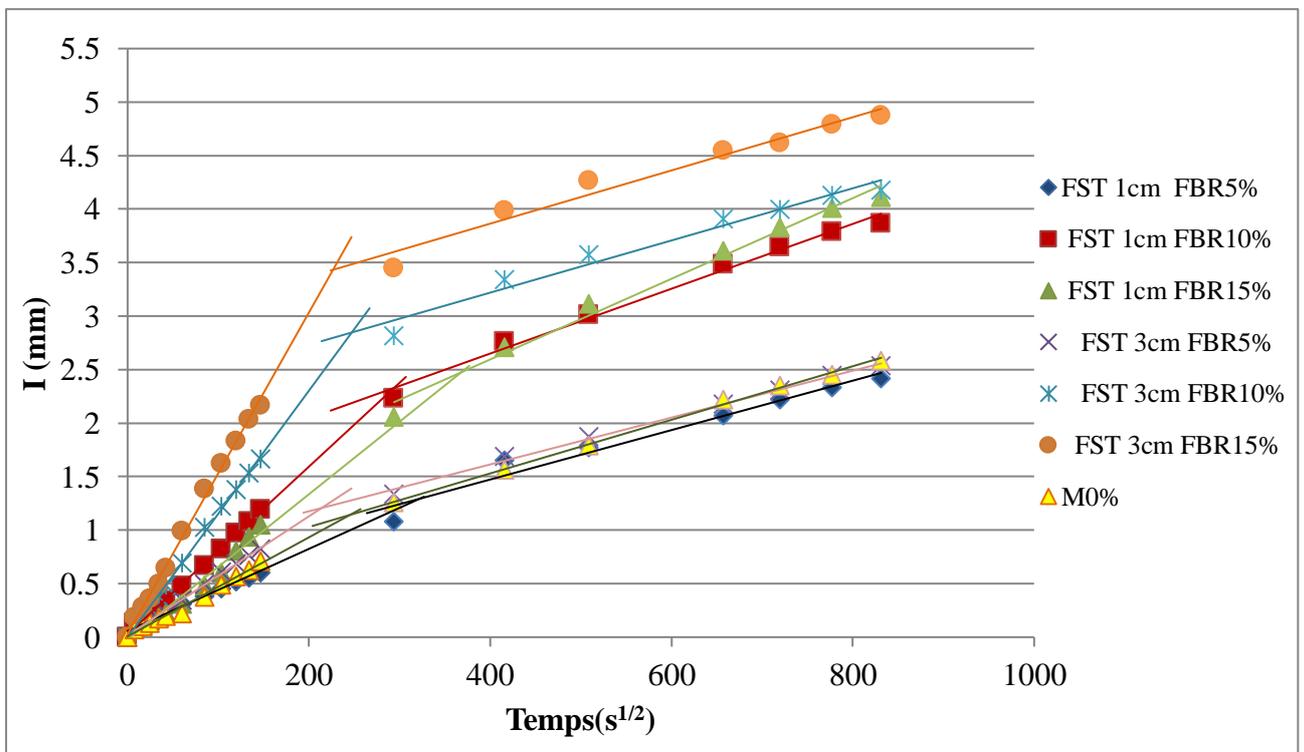


Figure 4-15: Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR et en fibre d'alfa sans traitement pondent 8 jours.

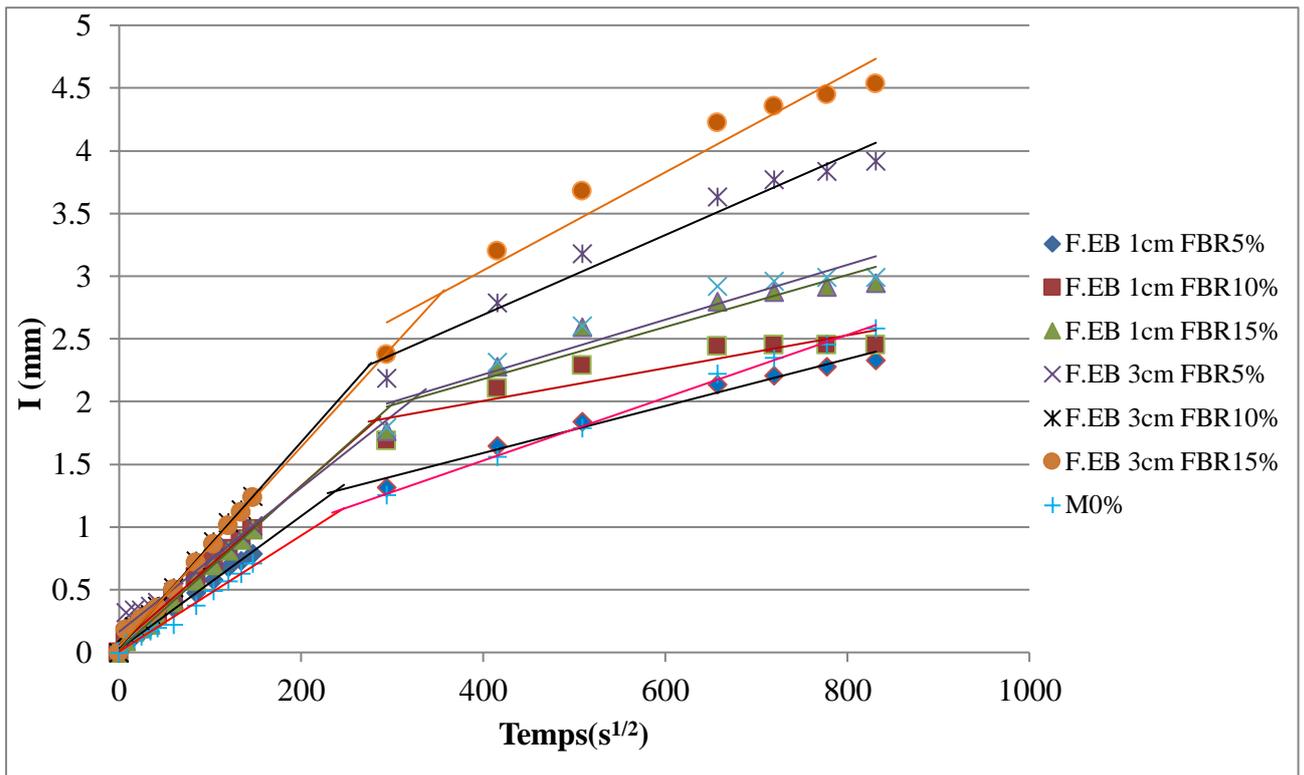


Figure 4-16: Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR et en fibre d'alfa traité hydrothermalement pondent 8 jours.

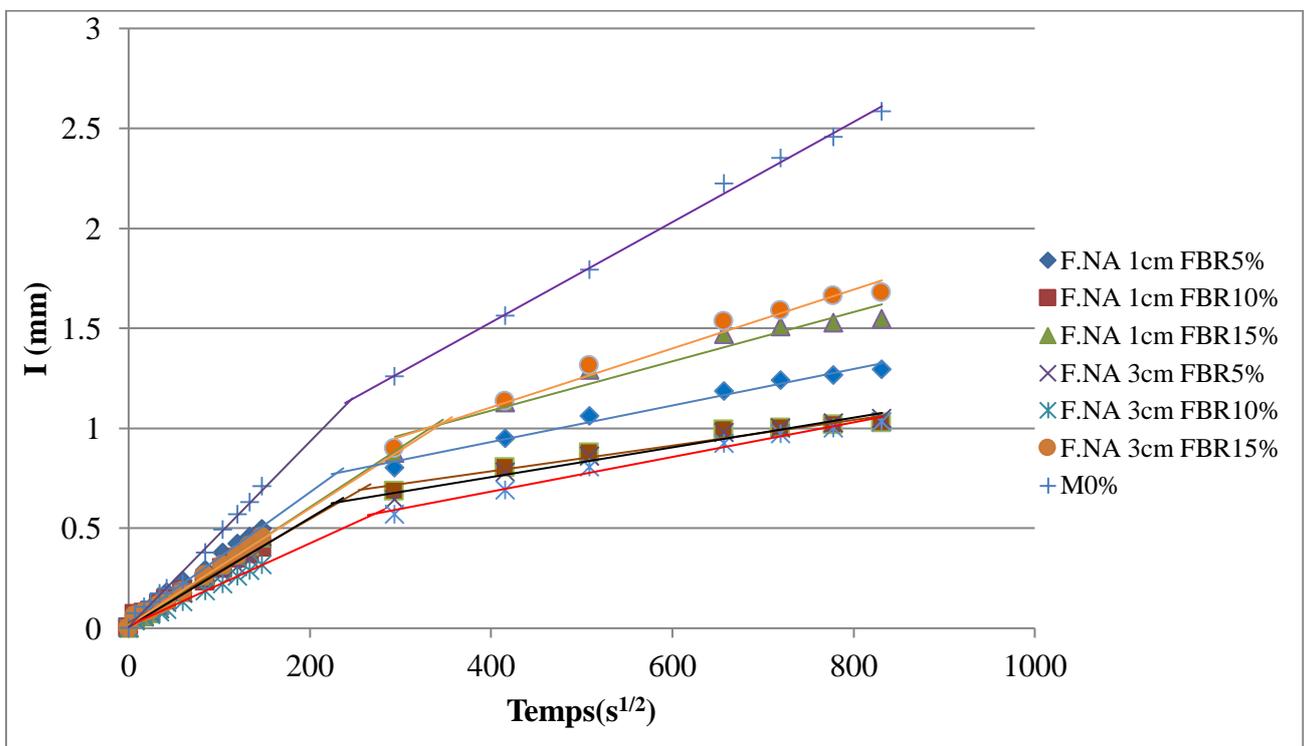


Figure 4-17: Absorption d'eau capillaire des différents mortiers substitués en FBR et en fibre d'alfa traité à l'alcalin pondent 8 jours.

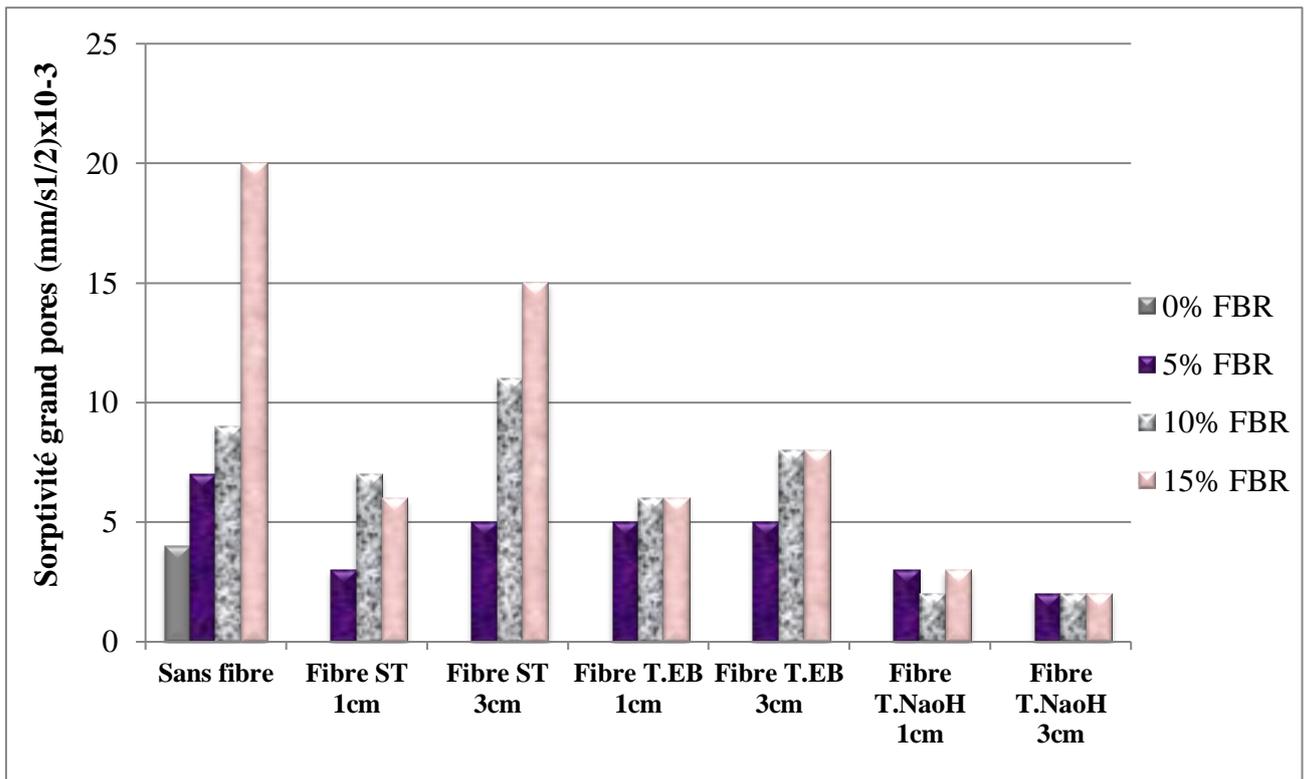


Figure 4-18: Sorptivité des différents mélanges grand pores.

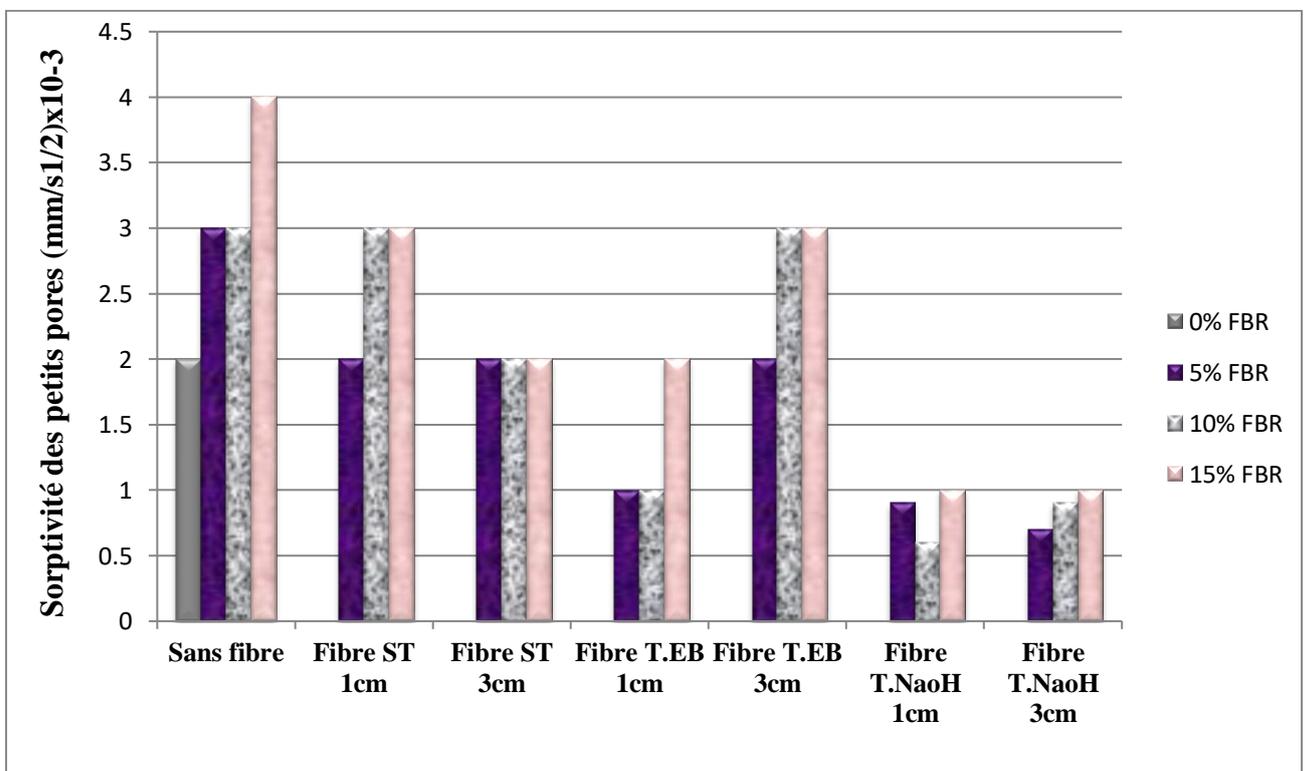


Figure 4-19: Sorptivité des différents mélanges petits pores.

4.4.6. Adhérence par arrachement (Pull-off):

Lors de cet essai plusieurs types peuvent avoir lieu. La Figure 4-20 montre les différents types des modes ruptures qu'on pourra observer selon la norme EN 1766.

- **a** : rupture cohésive dans le béton.
- **b** : rupture adhésive entre le substrat et la couche de mortier de réparation.
- **c** : rupture cohésive dans la couche de mortier de réparation.
- **d** : rupture cohésive dans la couche de l'adhésive.

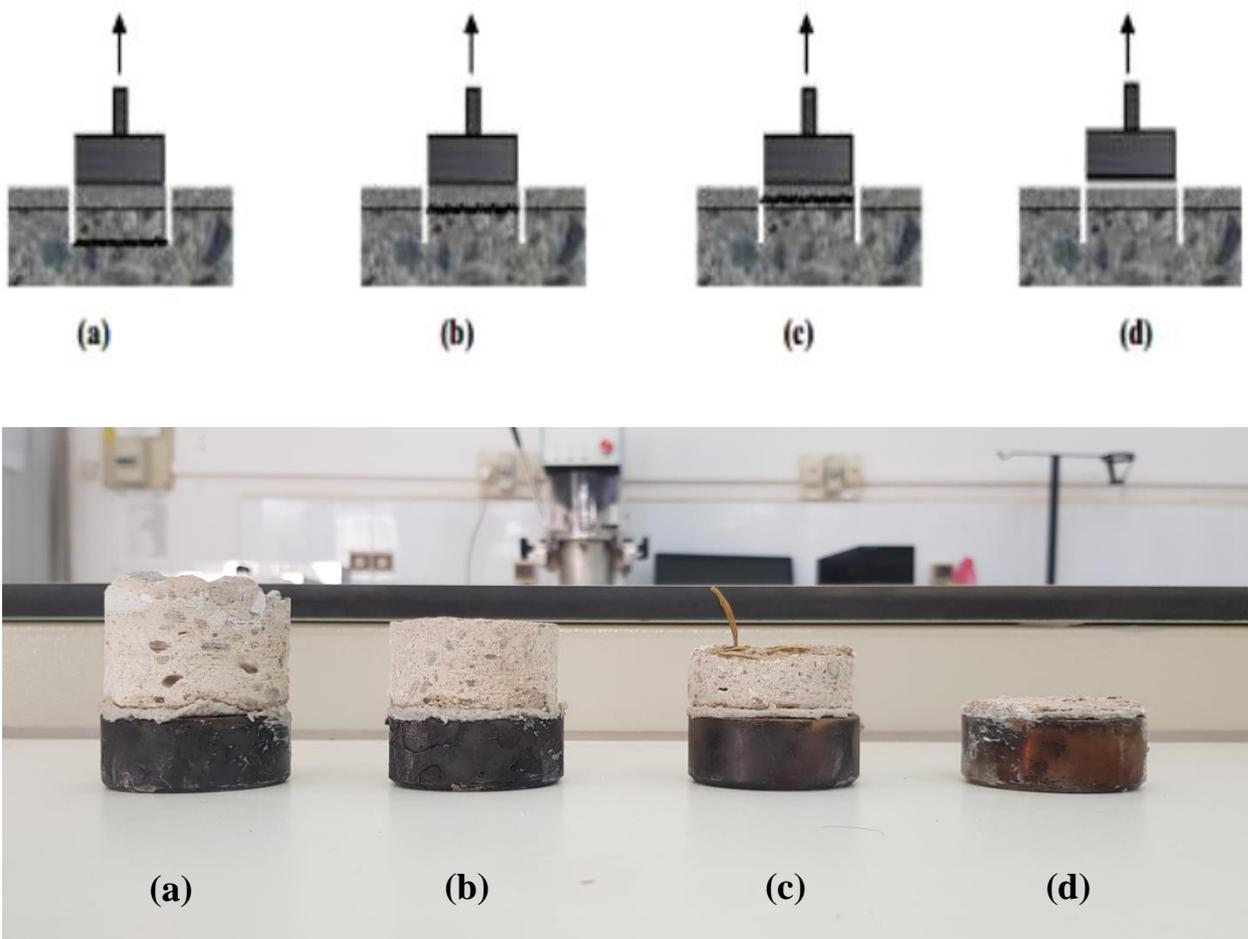


Figure 4-20: Types de mode de rupture.

Les contraintes d'adhérence et les modes de rupture correspondantes obtenus par l'essai d'adhérence par traction direct à l'âge de 90 jours pour les différents mortiers testés sont présentés dans le Tableau 4-1 et la Figure 4-21

Tableau 4-1: Contraintes d'adhérences et modes des ruptures.

		Résistance d'adhérence (MPa)/Mode de rupture					
		1	2	3	4	5	Moyenne (MPa)
0%		1,2/b	1/b	1,2/b	-	-	1,13
FBR5%		1/b	1,4/b	1,5/b	-	-	1,3
FBR10%		1,3/b	1,7/b	1,5/b	-	-	1,5
FBR15%		1,6/b	1,5/b	1,8/b	-	-	1,63
FST 1cm	FBR5%	1,6/b	1,8/b	-	-	-	1,7
	FBR10%	1,3/b	1,8/a	1,4/b	1,3/b		1,45
	FBR15%	1,3/b	1,5/b	1,5/b			1,43
FST 3cm	FBR5%	1,8/b	1,8/a	-	-	-	1,8
	FBR10%	1,5/b	1,5/b	-	-	-	1,5
	FBR15%	1,5/b	1,3/b	1,2/b	1,1/b	1,6/b	1,34
FEB 1cm	FBR5%	1,5/a	1,8/a	2,3/a	2,3/a		1,97
	FBR10%	1,8 /d	1,9 /d	1,7/d	1,7 /a	2/d	1,82
	FBR15%	2/a	1,3/a	2,1/a	1,6/a		1,75
FEB 3cm	FBR5%	1,6/b	1,9/b	1,3/c	1,4/b	1,7/b	1,58
	FBR10%	1,5/a	1,8/a	2,1/a	1,6/a	-	1,75
	FBR15%	1,3/b	1,4/b	1,3/b	-	-	1,33
FNA 1cm	FBR5%	2,3/a	2,1/a	2,2/a	2,3/a	2,1/a	2,2
	FBR10%	1,7/d	1,7/d	1,8/a	1,6/a	2,1/a	1,78
	FBR15%	1,9/a	2/a	1,4/a	1,5/a	1,6/a	1,68
FNA 3cm	FBR5%	1,6/b	1,8/b	1,7/b	1,5/b	1,9/b	1,7
	FBR10%	1,7/a	1,7 /a	1,6/d	1,5/a	1,5/d	1,6
	FBR15%	1,6/b	1,8/b	1,5/b	1,5/b	1,3/b	1,54

La Figure 4-21 et le tableau 4-1 que la contrainte d'adhérence augmente avec l'augmentation du dosage en fine de brique recyclée avec un mode de rupture (b) adhésive entre le substrat et la couche de mortier de réparation, cela est pareille pour chaque pourcentage. Les valeurs de contrainte obtenues pour M0, FBR5, FBR10 et FBR15 sont respectivement de 1.13, 1.3, 1.5 et 1.63 (MPa).

L'addition des fibres d'alfa sans traitement ou traitées au mortier de réparation (à 1% du volume global) d'une longueur de 1 ou 3 cm ont présenté une tendance de contrainte décroissante dans les mortiers substitués en fine de brique FBR5, FBR10 et FBR15 (Figure 4-21), contrairement à celle des échantillons sans fibres.

Les échantillons fibres de 1 ou 3 cm sans traitements ont dépassé la valeur minimale (1,5 MPa) exigé par la norme EN 1766 avec un mode de rupture adhésive entre le substrat et la couche de mortier de réparation (b). Mise à part FBR15 FST 3cm.

L'ajout des fibres d'alfa sans traitement de 1cm à 3cm conduit à une augmentation de la contrainte d'adhérence par rapport au mortier de référence pour tout les mélange de 5, 10 et 15% de FBR respectivement.

Nous avons remarqué aussi sur le Tableau 4-1 que l'incorporation des fibres d'alfa de 1cm traitées hydrothermalement ou à l'alcali à amélioré la contrainte d'adhérence par arrachement est nettement supérieur à la valeur minimale.

Les échantillons FBR5 qui contient des fibres de 1cm traitées hydrothermalement ou à l'alcali ont présentées les meilleurs résultats de 1,97 et 2,2 MPa respectivement avec un mode de rupture cohésive dans le béton (a).

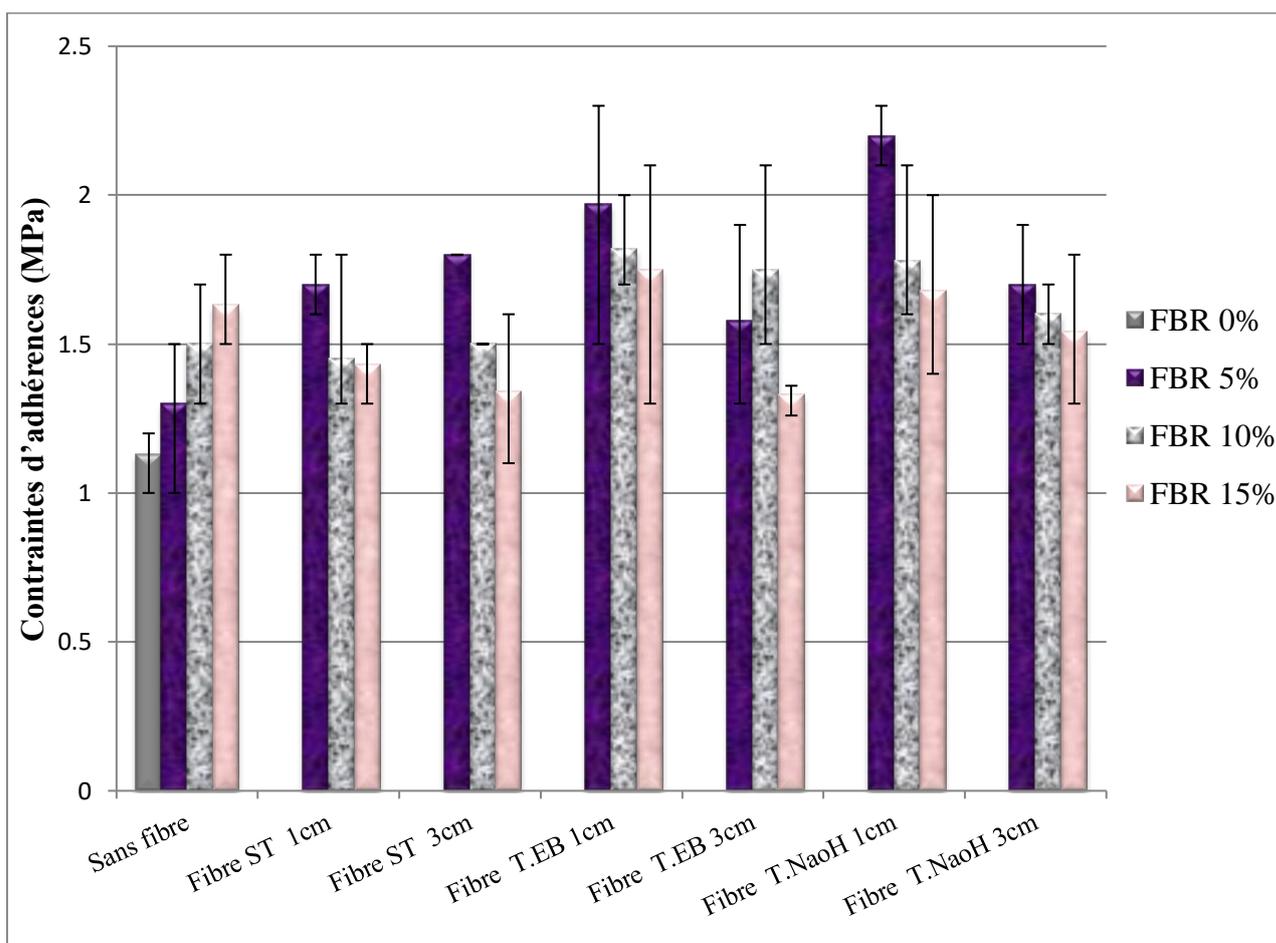


Figure 4-21: Contraintes d'adhérences obtenues par l'essai d'adhérence par traction direct à l'âge de 90 jours pour les différents mortiers testés.

4.4.7. Conductivité thermique :

La conductivité thermique (CT) d'un matériau décrit sa capacité à conduire la chaleur. Cette dernière dépend principalement de la longueur du libre parcours moyen des phonons pour les composites à base de ciment.

Les effets de l'ajout des FBR et fibres d'alfa sur la CT présenté sur la Figure 4-22. L'incorporation des fines de briques diminue de manière considérable la CT du mortier. A chaque fois le taux de remplacement en FBR augmente de (5%, 10% et 15%), la conductivité thermique diminue respectivement (5%, 28% et 57%), par rapport au mortier témoin (M0). Ce résultat est conforme avec celui de Lima et al.[30] qui ont mis en évidence que l'augmentation de la porosité conduit à une diminution de la conductivité thermique.

L'addition des fibres d'alfa sans traitement au mortier de réparation (à 1% du volume global) d'une longueur de 1 ou 3 cm ont présenté une augmentation dans les mortiers substitués en fine de brique FBR5, FBR10 et FBR15 (Figure 4-22), contrairement à celle des échantillons sans fibres. De même, l'incorporation des fibres d'alfa traitées hydrothermalement ou à l'alcalin ont augmenté la conductivité thermique, par rapport aux échantillons sans fibre. Il faut mentionner aussi que le mortier qui contient 5% des FBR et les fibres de 1cm traitées hydrothermalement a donné la plus grande valeur de la (CT) 0.846 W/mK.

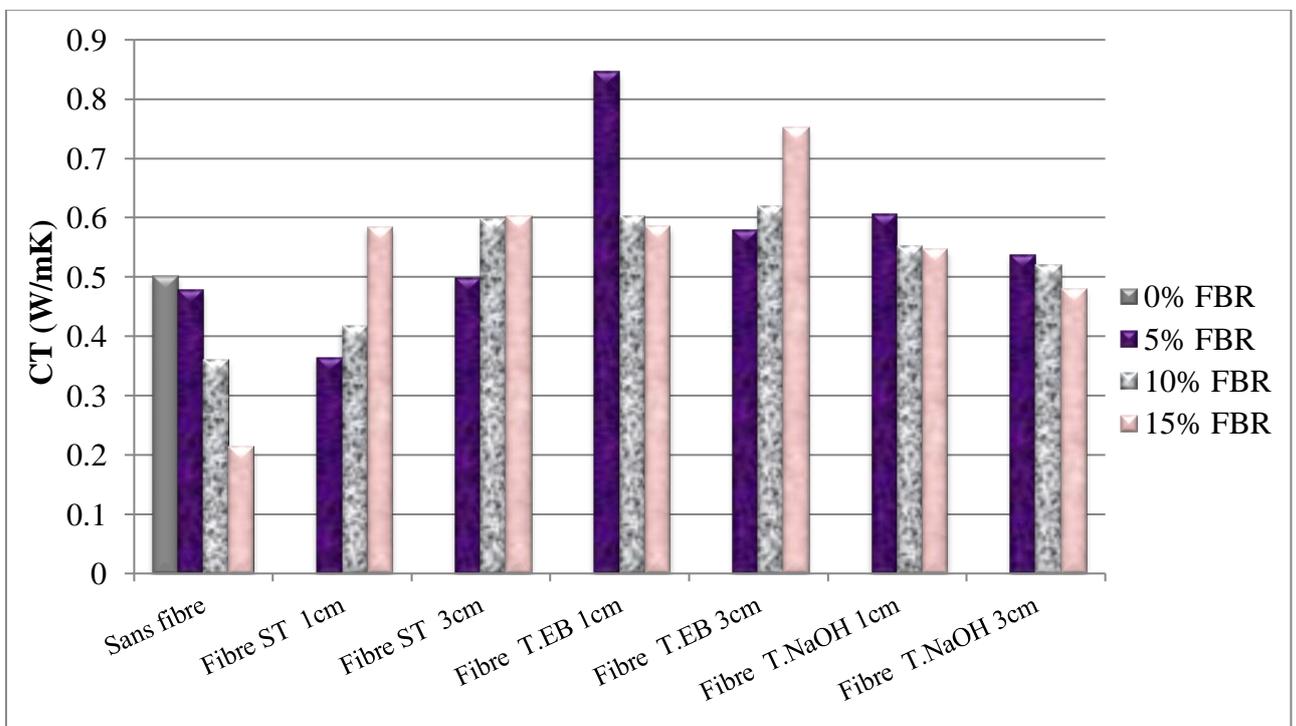


Figure 4-22: Conductivité thermique à l'âge de 90 jours pour les différents mortiers testés.

4.5. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre l'effet de la substitution du ciment par les fines de brique recyclée et l'incorporation des fibres d'alfa sur les performances d'un mortier de réparation. A partir de cette étude expérimentale il en ressort les conclusions suivantes :

- L'incorporation des fines de brique dans les pâtes cimentaires, provoque des retards dans le début et la fin de prise, plus le taux de substitution de ciment par les fines de déchet de brique augmente et plus ce retard devient important.
- L'augmentation du taux de substitution du ciment par les fines de brique recyclée, et l'incorporation des fibres d'alfa traités ou non traités, provoque une diminution d'ouvrabilité, maniabilité et masse volumique.
- La résistance à la compression diminue en augmentant la substitution du ciment par la fine de brique à 28 jours et 90 jours. L'incorporation des fibres d'alfa traités ou non traités diminue la résistance à la compression à 28 jours. A 90 jours la résistance à la compression est nettement améliorée.
- La résistance à la flexion des mortiers à base de fine de brique et de ciment à 28 jours, est légèrement inférieure par rapport au mortier témoin. A 90 jours, la résistance s'améliore et le FBR5 présente une résistance égale à celle du mortier de référence. L'incorporation des fibres d'alfa traité (hydrothermalement ou à l'alcalin) améliore la résistance à la flexion à 28 jours par rapport aux échantillons sans fibre ou avec fibre sans traitement. À 90 jours de maturation le meilleur résultat de résistance à la flexion à été enregistré par les fibres de 1cm traitées à l'alcali, à une substitution de 5% en FBR, qui a dépassé celle de M0, avec une déférence de 3%.
- L'intégration des fines de brique et les fibres d'alfa augmentent la contrainte d'adhérence par cisaillement à 90 jours. L'ajout des fibres d'alfa (à 1% du volume global) découpées en 1 cm dans des mortiers substitués en fine de brique (FBR5, FBR10 et FBR15), cause une légère augmentation de la contrainte de cisaillement qui ne dépasse pas les 11% par rapport à celle de mortier référence. Ce qui est marquant est l'effet du traitement des fibres hydrothermalement ou à l'alcali,

ça a amélioré la contrainte d'adhérence par cisaillement oblique qui peut dépasser les 80%.

- La contenance en fines de briques augmente de manière considérable la porosité du mortier. En contre partie, les fibres d'alfa non traitées ont un effet réducteur en général, par rapport aux échantillons sans fibre tout en restant supérieur à la porosité du témoin M0. Ce qui est plus marquant encore, c'est l'effet du traitement des fibres qui réduit la porosité d'une manière très visible surtout hydrothermalement, la réduction à atteint les 58% par rapport au témoin M0 (dans le cas FBR5 a fibres de 1cm).
- Dans tous les cas, tout ajout des fines de briques ou des fibres d'alfa contribue à l'augmentation de l'absorption capillaire et le coefficient de sorptivité durant tout l'essai par rapport au mortier M0. Par conséquence, l'incorporation des fibres traité à l'alcalin ont un effet réducteur sur l'absorption capillaire et aussi sur le coefficient de sorptivité.
- La substitution en fine de brique recyclé à améliorées la contrainte d'adhérence par arrachement. Les échantillons qui contient des fibres d'alfa traitées à l'alcali ou hydrothermalement ont présenté les meilleurs résultats.
- La substitution en fine de brique recyclé à diminué la conductivité thermique par contre l'incorporation des fibres d'alfa traitées à augmenté la CT.
- Les résultats obtenus de la CT ont un rapport contraire à ceux de la porosité.

References bibliographiques

- [1] M. S. Kırğız, “Fresh and hardened properties of green binder concrete containing marble powder and brick powder,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 20, pp. s64–s101, 2016, doi: 10.1080/19648189.2016.1246692.
- [2] Y. Zhao, J. Gao, C. Liu, X. Chen, and Z. Xu, “The particle-size effect of waste clay brick powder on its pozzolanic activity and properties of blended cement,” *J. Clean. Prod.*, vol. 242, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118521.
- [3] F. Bektas, K. Wang, and H. Ceylan, “Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1909–1914, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.006.
- [4] F. Debieb and S. Kenai, “The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 5, pp. 886–893, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.12.013.
- [5] Q. Huang, X. Zhu, G. Xiong, C. Wang, D. Liu, and L. Zhao, “Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 274, p. 122068, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122068.
- [6] R. G. Chandrasekaran and G. Ramakrishna, “Experimental investigation on mechanical properties of economical local natural fibre reinforced cement mortar,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 3–8, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.908.
- [7] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 83, pp. 98–112, 2016, doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.038.
- [8] N. Saba, M. T. Paridah, and M. Jawaid, “Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 76, pp. 87–96, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.043.
- [9] S. Ajouguim, J. Page, C. Djelal, M. Waqif, and L. Saâdi, “Impact of Alfa fibers morphology on hydration kinetics and mechanical properties of cement mortars,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 293, p. 123514, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123514.
- [10] J. M. Khatib, “Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 35, no. 4, pp. 763–769, 2005, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.06.017.
- [11] A. Bouguerra, A. Ledhem, F. De Barquin, R. M. Dheilly, and M. Quéneudec, “Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 28, no. 8, pp. 1179–1190, 1998, doi: 10.1016/S0008-8846(98)00075-1.
- [12] J. D. Wu, L. P. Guo, and Y. Y. Qin, “Preparation and characterization of ultra-high-strength and ultra-high-ductility cementitious composites incorporating waste clay brick powder,” *J. Clean. Prod.*, vol. 312, no. June, p. 127813, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127813.
- [13] Dr. M. Usha Rani and J. Martina Jenifer, “Mechanical Properties of Concrete with Partial Replacement of Portland Cement by Clay Brick Powder,” *Int. J. Eng. Res.*, vol. V5, no. 02, pp. 63–67, 2016, doi: 10.17577/ijertv5is020044.
- [14] Z. Duan, S. Hou, J. Xiao, and B. Li, “Study on the essential properties of recycled powders from construction and demolition waste,” *J. Clean. Prod.*, vol. 253, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119865.
- [15] Z. Ma, Q. Tang, H. Wu, J. Xu, and C. Liang, “Mechanical properties and water absorption of cement composites with various fineness and contents of waste brick powder from C&D waste,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 114, no. July, p. 103758, 2020, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103758.
- [16] V. A. Alvarez and A. Vázquez, “Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 37, no. 10, pp. 1672–1680, 2006, doi: 10.1016/j.compositesa.2005.10.005.

- [17] J. P. Gonçalves, L. M. Tavares, R. D. Toledo Filho, and E. M. R. Fairbairn, "Performance evaluation of cement mortars modified with metakaolin or ground brick," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 1971–1979, 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.027.
- [18] A. Sellami, M. Merzoud, and S. Amziane, "Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1117–1124, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.073.
- [19] D. G. Soltan, P. das Neves, A. Olvera, H. Savastano Junior, and V. C. Li, "Introducing a curauá fiber reinforced cement-based composite with strain-hardening behavior," *Ind. Crops Prod.*, vol. 103, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.016.
- [20] C. Zanotti, N. Banthia, and G. Plizzari, "A study of some factors affecting bond in cementitious fiber reinforced repairs," *Cem. Concr. Res.*, vol. 63, pp. 117–126, 2014, doi: 10.1016/j.cemconres.2014.05.008.
- [21] Z. Ge, Y. Feng, H. Zhang, J. Xiao, R. Sun, and X. Liu, "Use of recycled fine clay brick aggregate as internal curing agent for low water to cement ratio mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 264, p. 120280, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120280.
- [22] H. Zhou, B. Jia, H. Huang, and Y. Mou, "Experimental study on basic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 6, 2020, doi: 10.3390/ma13061362.
- [23] A. Roy, S. Chakraborty, S. P. Kundu, R. K. Basak, S. Basu Majumder, and B. Adhikari, "Improvement in mechanical properties of jute fibres through mild alkali treatment as demonstrated by utilisation of the Weibull distribution model," *Bioresour. Technol.*, vol. 107, pp. 222–228, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2011.11.073.
- [24] S. R. Ferreira, F. D. A. Silva, P. R. L. Lima, and R. D. Toledo Filho, "Effect of fiber treatments on the sisal fiber properties and fiber-matrix bond in cement based systems," *Constr. Build. Mater.*, vol. 101, pp. 730–740, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120.
- [25] S. Ajouguim *et al.*, "Effect of Alfa fibers on the mechanical and thermal properties of compacted earth bricks," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, pp. 4049–4057, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.539.
- [26] A. Laborel-Préneron, J. E. Aubert, C. Magniont, C. Tribout, and A. Bertron, "Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 719–734, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119.
- [27] F. E. El-Abbassi, M. Assarar, R. Ayad, A. Bourmaud, and C. Baley, "A review on alfa fibre (*Stipa tenacissima* L.): From the plant architecture to the reinforcement of polymer composites," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 128, 2020, doi: 10.1016/j.compositesa.2019.105677.
- [28] M. Rokbi, H. Osmani, A. Imad, and N. Benseddiq, "Effect of chemical treatment on flexure properties of natural fiber-reinforced polyester composite," *Procedia Eng.*, vol. 10, pp. 2092–2097, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.346.
- [29] M. I. Gomes, T. D. Gonçalves, and P. Faria, "Earth-based repair mortars: Experimental analysis with different binders and natural fibers," *Rammed Earth Conserv.*, pp. 661–668, 2012, doi: 10.1201/b15164-115.
- [30] J. Lima, P. Faria, and A. Santos Silva, "Earth Plasters: The Influence of Clay Mineralogy in the Plasters' Properties," *Int. J. Archit. Herit.*, vol. 14, no. 7, pp. 948–963, 2020, doi: 10.1080/15583058.2020.1727064.

Conclusions Générales et Perspectives

Conclusions générales et perspectives :

Ce thème de recherche a été mené pour étudier la durabilité et la performance d'un mortier de réparation d'un ouvrage en béton armé. Le but essentiel de ce travail, était de développer un mortier de réparation à base des fines de brique recyclée et des fibres d'alfa et étudier son l'effet sur le comportement mécanique et physique des mortiers de réparations confectionnés à l'état frais et à l'état durci.

Sur la base des résultats expérimentaux obtenus durant cette étude, on peut tirer les conclusions suivantes:

- Les fibres d'alfa utilisées ont présenté un coefficient d'absorption d'eau très élevée de 200%, et par conséquent elles ont été saturées pendant 24h dans l'eau avant leur utilisation.
- L'essai d'étalement (table à secousse) effectué sur le mortier de référence MR dont l'objectif visé était la détermination du dosage optimum en superplastifiant. Ce dernier nous a permis de constater que le dosage nécessaire pour la formulation du mortier est de **1.1%**.
- L'incorporation des fines de brique dans les pâtes cimentaires, provoque des retards dans le début et la fin de prise, plus le taux de substitution de ciment par les fines de déchet de brique augmente et plus ce retard devient important.
- Nous avons constaté que l'étalement diminue avec l'augmentation de la substitution en fines de brique recyclée. Cela aussi a été constaté avec l'incorporation des fibres d'alfa.
- Les fines de brique augmentent le temps d'écoulement des mortiers. De même les fibres d'alfa tendent bloquer l'écoulement du mortier.
- La résistance à la compression diminue en augmentant la substitution du ciment par les fines de brique à 28 jours et 90 jours. L'incorporation des fibres d'alfa traitées ou non traitées diminue la résistance à la compression à 28 jours. A 90 jours la résistance à la compression est nettement améliorée.

- À 90 jours de maturation, le meilleur résultat de résistance à la flexion a été enregistré par les fibres de 1cm traitées à l'alcali, à une substitution de 5% en FBR, qui a dépassé celle de M0, avec une déférence de 3%.
- L'incorporation des fines de brique et les fibres d'alfa augmentent la contrainte d'adhérence par cisaillement à 90 jours. Le traitement des fibres hydrothermalement ou à l'alcali a amélioré la contrainte d'adhérence par cisaillement oblique.
- La contenance en fines de briques augmente de manière considérable la porosité du mortier. En contrepartie, les fibres d'alfa non traitées ont un effet réducteur en général, par rapport aux échantillons sans fibre tout en restant supérieur à la porosité du témoin M0. Ce qui est plus marquant encore, c'est l'effet du traitement des fibres qui réduit la porosité d'une manière très visible surtout hydrothermalement, la réduction a atteint les 58% par rapport au témoin M0.
- Dans tous les cas, tout ajout des fines de briques ou des fibres d'alfa contribue à l'augmentation de l'absorption capillaire et le coefficient de sorptivité durant tout l'essai par rapport au mortier M0. Par conséquent, l'incorporation des fibres traitées à l'alcalin ont un effet réducteur sur l'absorption capillaire et aussi sur le coefficient de sorptivité.
- La substitution en fine de brique recyclé à améliorées la contrainte d'adhérence par arrachement. Les échantillons fibrés traitées hydrothermalement ou à l'alcali ont présenté les meilleurs résultats sur l'essai d'adhérence.
- La substitution en fine de brique recyclé à diminué la conductivité thermique par contre l'incorporation des fibres d'alfa traitées à augmenté la CT. Les résultats obtenus de la CT ont un rapport contraire à ceux de la porosité.

Recommandations et perspectives :

Cette étude a été limitée par le temps et elle peut être complétée par d'autres travaux expérimentaux. Nous proposons de la compléter par les investigations suivantes :

- Etude d'autres propriétés des mortiers de réparation comme : le module d'élasticité, la perméabilité à l'eau, la perméabilité au gaz et la résistance à la pénétration des ions chlore.
- Etude de l'effet de la durée de cure humide sur les différentes caractéristiques des mortiers de réparation.
- Etude de la performance des mortiers à base d'autres ajouts cimentaires qui existent en Algérie, comme le métakaolin.
- Réalisation d'autres essais plus avancés comme le prosimètre à mercure pour mieux cerner et comprendre l'effet de la substitution du ciment et l'ajout des fibres à l'échelle micro-structurale.

Annexes

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Description

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de Polycarboxylates d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons.

Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, Il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

Domaines D'application

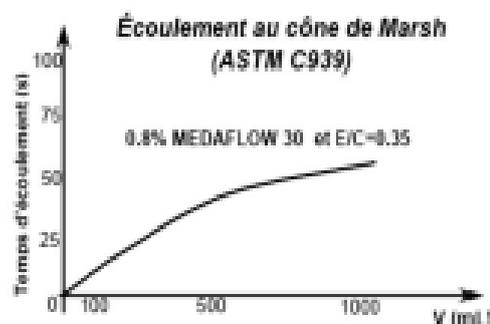
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages Industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

Propriétés

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	R _c (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	64.7	62.2

Caractéristique

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

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.



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tel : (213) 021 51 66 81 & 82

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

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



Fiche technique
Edition 1, 2015
Identification no. 02 04 02 03 001 0 000039
Version no. 22092015
Sikadur®-31 CF Normal

Sikadur®-31 CF Normal

Colle époxy thixotrope à 2 composants

Produit

Description

Le Sikadur-31 CF Normal est une colle et un mortier de réparation à 2 composants, sans solvant, tolérant l'humidité, thixotrope et structurale, à base de résine époxy et de charges spéciales, formulé pour utilisation à des températures entre +10°C et +30°C.

Domaines d'application

Comme colle structurale et mortier pour:

- Eléments en béton
- Pierre naturelle dure
- Céramique, fibre-ciment
- Mortier, briques, maçonnerie
- Acier, fer, aluminium
- Bois
- Polyester, époxy
- Verre

Mortier de réparation et colle pour:

- Coins et angles
- Remplissage de trous et cavités
- Applicable en vertical et en plafond

Remplissage de joints et fissures:

- Remplissage de joints et fissures / réparation d'angles

Avantages

- Mise en oeuvre et mélange aisés.
- Convient pour support en béton sec et humide.
- Très bonne adhérence sur la plupart des matériaux de construction.
- Résistances élevées
- Thixotrope: ne flue pas et convient pour application verticale et en plafond.
- Durcissement sans retrait.
- Composants de couleur différente (pour le contrôle du mélange).
- Ne nécessite pas de primaire.
- Résistances mécaniques initiales et finales élevées.
- Bonne résistance à l'abrasion.
- Etanche aux liquides et à la vapeur d'eau.
- Bonne résistance chimique.

Essais

Rapports d'essai / Certificats

Testé selon l'EN 1504-4

Information produit

Forme

Couleur

Composant A : blanc
Composant B : gris foncé
Mélange A + B : gris béton

Emballage

Kit prédosé (A+B) de 1,2 kg (1 carton = 6 x 1,2 kg)

Stockage

Conditions de stockage

Stocker dans les emballages d'origine fermés dans un endroit sec à une température comprise entre +5°C et +30°C. Protéger de l'exposition directe au soleil.

Conservation

24 mois

Composition du mortier ordinaire

composition Mortier	
Ciment portland	100
Liant PZ	0
E/L	0,5
SP%	1,1

Matériaux	Poids	Densité	Volume	
	g	kg/m ³	litre	
ciment	833,33	2821,03	0,295	
Liant	0,00	2216,33	0,000	
Eau	418,17	1000	0,293	70% W1
		1000	0,125	30% W2
superplast - MEDAFLOW30	9,17	1080	0,008	
Sable	2500,00	2649,865	0,943	
Fibre palmier 1 %	14,26	855,900	0,017	
Total			1,665	litre