REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux de construction

Thème

Etude de l'influence de l'utilisation des tissus de fibre synthétique comme renforcement dans les joint de maçonnerie à base mortier de ciment

Présenté par :

KHOUKHI Naceur

HADID Yasser

Proposé et Dirigé par :

Mr. BOUKSANI Omar

Promotion 2020

Remerciements

Nous remercions tous d'abord le tout puissant et miséricordieux : DIEU, qui nous a accordé sante, énergie et volonté, pour que nous soyons aujourd'hui ici avec ce parcours et ce travail.

Nous tenons à remercier vivement en premier lieu, notre promotrice M^R omar bouksani pour son aide et ses conseils.

Un grand merci est adressé à tous le

Notre profonde gratitude s'adresse à tout le personnel du département du Génie de la matière et l'ensemble des enseignants qui en font partie.

Et nous n'oublions certainement pas nos parents nos amis ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

Dédicace :

C'est avec un très grand honneur que je dédie mon travail :

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

A mes frère et sœurs, Yasser

A toute ma famille

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

En fin, je remercie mon professeur bouksani et mon amis Yasser qui a contribués pour réaliser ce travail.

Naceur

Dédicace :

C'est avec un très grand honneur que je dédie mon travail :

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

A mes très chers frères et sœurs.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

En fin, je remercie mon professeur BOUKSANI et mon amis Naceur qui à contribués pour réaliser ce travail.

HADID

Résumé

Abstract:

Brick masonry plays an important role in the field of construction, meaning the need to study the nature of masonry behaviour under different conditions and compositions. In this work of experimental studies of the properties of materials, the behaviour in compression and shear of brick masonry with type of mortar are presented. The properties of the material are evaluated from the compression and bending tests of bricks, and mortar. Experimental study of non-reinforced perforated brick masonry panels and glass fibre fabric reinforced panels with several devices tested under uni-axial loading until fracture with different types of mortar are performed to evaluate and compare their shear strength, we try to show the influence of all these parameters on the behaviour of the masonry structures studied.

Résumé :

La maçonnerie de brique joue un rôle important dans le domaine de la construction signifiant la nécessité d'étudier la nature du comportement de la maçonnerie dans différentes conditions et compositions. Dans ce travail des études expérimentales des propriétés des matériaux, le comportement en compression et en cisaillement de la maçonnerie en brique avec différents types de mortier sont présentées. Les propriétés du matériau sont évaluées à partir des essais de compression et flexion des briques, et mortier. Des études expérimentales de panneaux de maçonnerie en briques perforé de terre cuite non renforcé et des panneaux renforcés par un tissu de fibre de verre avec plusieurs dispositifs testés sous chargement uni axial jusqu'à la rupture avec type de mortier sont effectués pour évaluer et comparer leur résistance au cisaillement, Nous tentons de montrer l'influence de l'ensemble de ces paramètres sur le comportement des structures en maçonnerie étudiées.

ملخص:

يمثل الآجر دورا مهما في مجال البناء، مما يعني الحاجة إلى دراسة طبيعة سلوك البناء في ظروف وتراكيب مختلفة. في هذا العمل من الدراسات التجريبية لخصائص المواد، يتم تقديم السلوك في ضغط وقص للجدران بنوع من الخرسانة المرنة. يتم تقييم خصائص المادة من اختبارات الانحناء والانضغاط للآجر والخرسانة المرنة في دراسة تجريبية ببناء جدران معززة بألياف الزجاج تم اختبارها تحت تحميل أحادي المحور حتى يتم إجراء كسر مع أنواع مختلفة من الخرسانة المرنة لتقييم ومقارنة قوة القص الخاصة بهم، ونحن نحاول أن نظهر تأثير كل هذه المعلمات على سلوك هياكل البناء التي تمت دراسته.

Introduction générale

L'utilisation de la maçonnerie dans la construction des bâtiments est une pratique généralisée dans de nombreux pays. La maçonnerie peut être utilisée comme un matériau de séparation ou comme un élément porteur.

Le comportement de la maçonnerie vis-à-vis le séisme est moins exploré. En effet, des expériences désastreuses des séismes tel que, celui qui s'est produit à CHLEF (1954 et 1980), en CALIFORNIE (1982), en COLOMBIE (1983), au MEXIQUE (1986) et en EGYPTE (1997), en GRECE, en TURQUIE (1999) et à AIN-TEMOUCHENT (1999), BOUMERDES (2003), MIHOUB (2016), témoignent de la nécessité de réglementer la construction en maçonnerie.

A l'état actuel la résistance de la maçonnerie au cisaillement est estimée sur la base de relations techniques déduites des relations expérimentales obtenues à partir des essais sur des murs en vrai grandeur ou prototypes.

L'objectif de notre travail est de réaliser des essais expérimentaux sur des triplets en maçonnerie en utilisant des blocs en ≪ brique perforé≫. Les triplets renforcés par un tissu de fibre de verre unidirectionnel selon plusieurs dispositions.
Puis dans un second temps, on essaye d'optimiser la quantité, la forme du renfort et de cibler les régions nécessitant cette ajout de renfort.

Notre travail a été organisé en cinq chapitres :

Chapitre 01 : présente les types de maçonnerie

Chapitre 02 : présente le comportement a la compression, a la traction, à la flexion et au cisaillement.

Chapitre 03 : présente l'état de l'art du renforcement et de la réhabilitation des maçonneries

Chapitre 04 : présente l'étude expérimentale

Chapitre 05 : présente résultats et interprétations

Sommaire

RESUME

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

NOMENCLATURE

INTRODUCTION

Chapitre I : Les types de maçonnerie

I. Introduction : ……...1

I.1 Historique : ……1

I.2 Appareillage de la maçonnerie : ……3

I.3 Les différents types de maçonnerie : ……5

I.3.1 Introduction : ……..……6

a) Maçonnerie de pierre naturelle : ……..6

b) Maçonnerie en agglomérés de béton : ……...6

c) Maçonnerie en briques d'argile cuite : ……7

A. Brique pleine : ……8

B. Brique perforée : ……8

C. Brique creuse : ……..9

D. Brique mono mur : ……10

d). Maçonnerie en briques silico – calcaire : ……11

I.4 Les joints de mortier : ……..11

I.5 Conclusion : ……...……..13

Chapitre II : Comportement mécanique des murs en maçonnerie

II.1 Pathologies de la maçonnerie: ……..……..14

II.2 Les propriétés mécaniques de la maçonnerie: …..……14

II.3 Mode de rupture de la maçonnerie: ……15

a) Rupture par glissement ……...15

Sommaire

b) Rupture par basculement ……..…….15
c) Rupture par cisaillement ……15
II.4 Comportement en compression de la maçonnerie: ……..……16
II.5 Résistance à la flexion (hors plan): ……..……..…17
II.6 Résistance des murs a la traction : ……..……...18
II. 7 Comportement vis-à-vis de la charge concentrée:…….19
Conclusion: ……..…….....22

Chapitre III : Technique de renforcement des murs et de la réhabilitation des maçonneries

III.1 Introduction : ……..23
III.2 Les différents types de fibre : ……24
a) Fibres de verre : ……..24
b) Fibres de carbone : ……26
c) Fibres de bore : ……...27
d) Fibres d'aramide : ……...27
e) Fibre de silice (ou de quartz) : ……...27
III.3 Les avantages et les inconvénients des matériaux composites : ……28
III.3.1 Les Avantages des matériaux composites : ……..28
III.3.2 Inconvénients des matériaux composites : ……28
III.4 Constitution des matériaux composite : ……29
III.4.1 La matrice : ……29
a) Résines thermodurcissables : ……...29
Polyesters insaturés ……....29
Epoxydes ……...30
b) Résines thermoplastiques (TP) : ……..30
III.5 Les renforts : ..……...31
III.5.1 Architecture de renforcement : ..……31

Sommaire

-Les mats : ……..31
-Les tissus : ……31
-Les unidirectionnelles : ……32
III. 6 Différents types de renforcement d'une fibre polymère : ..……33
III.6.1 Renforcement par tissus de fibre de : ..……..33
III.6.2 Renforcement par grillage : ……..34
III.6.2.1 Le renforcement par grillage en treillis en acier : ……..34
III.6.2.2 Le renforcement par grillage en treillis en plastique : ……...36
III.7 Conclusion : ……...38

Chapitre IV : Etude Expérimental

IV.1 Caractérisation des matériaux utilise : ……..39
A.1) Brique perforée : ……..39
A.2) sable utilises : ……...40
- Equivalent de sable : ……...41
- Granulométrie : ……42
- Masse volumique : ……...43
- Module de finesse : ……44

A.3) le ciment : ……45
A.4) Eau : ……...45
IV.2 Confection mortier et construction des triplets : ……..46
IV.2.1 Mortier : ……46
Les essais effectués sur le mortier à l'état durci : ……...47
A - Essai de traction par flexion : ……...47
B- Essai de compression : ……..47
IV.2.2 Construction des triplets : ……48
IV.3 Matériaux composite et renforcement des triplets : ……....49
IV.3.1 matériaux composite : ……..49
IV.3.2 matériaux de renforcement : ……...54

Sommaire

IV.3.2.1 triplet renforcé par la fibre de verre (FRP) : ……..54

IV.3.2.1.1 résine d'imprégnation : ….……55

IV.3.2.1.2 mode d'application de la fibre de verre : ..……..56

A) préparation de la surface : ……56

B) couper le tissu en fibre de verre : ……56

C) imprégnation et application des tissus : ……..57

IV.3.2.1.3 diffèrent dispositifs de fibre adopte : ..…….58

IV.3.2.2 triplet renforcé par l'enduit en ciment et grillage : ……...59

IV.3.2.2.1 la différente étape de construction et de renforcement des triplets par grillage : ……..59

IV.3.2.2.2 Les types de matériaux utilisés pour le renforcement des triplets : …..….60

IV.4 Essai de cisaillement : ..……...61

IV.5 Conclusion : ……..62

Chapitre V : Résultants expérimental

PARTIE 01 : Résultats expérimentale sur les matériaux :

V.1.1 Les briques : ……...63

a) Caractéristiques géométriques ……63

b) Caractéristiques physiques ……...63

c) Caractéristiques mécaniques ……...64

PARTIE 02 : Résultats expérimentale sur les triplets :

V.2.1 Résultat expérimentaux sur triplets : ……..65

V.2.1.1 Comportement de triplet témoin TT : ……..65

V.2.1.2. Comportement des triplets renforcés par fibre de verre : ……...65

Triplet 1 renforcé verticalement une face ……..66

Triplet 2 renforcé en forme v une face ……...66

Sommaire

Triplet 3 renforcé horizontalement une face……..67
Triplet 4 renforcé en forme incliné une face……...67
Triplet 5 renforcé en forme x une face ..……....68
Triplet 1’ renforcé verticalement deux faces ..……..68
Triplet 2’ renforcés en forme v deux faces ……69
Triplet 3’ renforcés horizontalement deux faces ……...69
Triplet 4’ renforcés en forme incliné deux faces ……...70
Triplet 5’ renforcés en forme x deux faces ……70
Triplet GA1 renforcés en grillage acier (2x2) mm² ……...71
Triplet GA2 renforcés en grillage acier (14x14) mm² ……...71
Triplet GA3 renforcés en grillage acier (6x6) mm² ……...72
Triplet GP1 renforcés en grillage plastic (3x2) mm² ……72
Triplet GP2 renforcés en grillage plastic (1x1) mm² ……73
V.2.2. Influence de la disposition de fibre de verre sur le comportement des triplets...73
V.3 Conclusion : ……78
Conclusion générale : ……...79

Chapitre I : Les types de maçonnerie

Chapitre II : Comportement mécanique des murs en maçonnerie

Chapitre III : Technique de renforcement des murs et de la réhabilitation des maçonneries

Tableau III.1 Caractéristiques mécaniques des fibres de verre : ……25
Tableau.III.2 Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone : ……26
Tableau III.3 Avantages et inconvénients de la résine Polyesters insaturés : ……...30
Tableau III.4 Avantages et inconvénients de la résine époxyde : ……30

Chapitre IV : Etude Expérimental

Tableau IV 1 : Les essais sur sable ……40
Tableau IV.2 : Les valeurs d'équivalent de sable ……42
Tableau IV.3 : Analyse granulométrique de sable ……44
Tableau IV.4 Les résultats des essais de compression ……..48
Tableau IV.5 : les caractéristiques de tous les triplets ……...49
Tableau IV.6 : caractéristique de fibre de verre ……..54
Tableau IV.7 : caractéristique de la résine ……..56

Chapitre V : Résultants expérimental

Tableau V.1 Caractéristiques physiques des briques : ……63
Tableau V.2 Résultats d'essai de compression sur briques : ……64
Tableau V.3 Tableau récapitulatif des résultats expérimentaux : ……76

Chapitre I : Les types de maçonnerie

Figure 1.1 : Pyramide Maya de Tikal (Guatemala) - Pyramide de Khéops à Gizeh (Egypte), ……..2
Figure 1.2 **:** Tunnels en maçonnerie, source Science Direct ……...2
Figure 1.3 Édifice Monadnock ……3
Figure 1.4 Exemple de maçonnerie : a) pierre de taille ; b) maçonnerie cyclopéenne..4
Figure I.5 : Les principaux appareils de la maçonnerie en pierre. Figure et définitions de la guide technique 6 de la ville de Québec : « La maçonnerie de la pierre » ……5
Figure I.6 **:** Pierre naturelle taille ……..6
Figure I.7 : Les différents types de parpaing (BALANDIER, 1990) ……7
Figure I.8 : Brique en terre cuite pleine ……..……8
Figure I.9 : Brique perforée ……9
Figure I.10 : Brique creuse ……...10
Figure I.11 : Brique mono mur ……10

Chapitre II : Comportement mécanique des murs en maçonnerie

Figure II.1 : Comportement des murs remplis de maçonnerie [11] ;a) rupture par glissement ; b) rupture par basculement ; c) rupture par cisaillement ……..15
Figure II.2 Comportement de prismes en compression ……16
Figure II.3 **:** Etat de contrainte dans une éprouvette prismatique de la maçonnerie, (a) dans les pierres, (b) dans le mortier. ……...17
Figure II.4 : Rupture le long de la ligne perpendiculaire aux lits (CHERRABI.A, 1990) ……18
Figure II.5 : Rupture le long de la ligne parallèle aux lits des joints (CHERRABI.A, 1990) ……..18
Figure II.6 : Résistance à la traction ……..19
Figure II.7. Propagation de la charge concentrée d'un mur ……..22

Chapitre III : Technique de renforcement des murs et de la réhabilitation des maçonneries

Fig.III.1 : Les constituants d'un matériau composite ……..23

Fig.III.2 : Représentation schématique d'un matériau composite ……24

Fig.III.3 : Fibres de verre ……25

Figure.III.4 : Fibres de carbone ……26

Figure.III.5 : Fibres d'aramide ……27

Figure.III.6 : Fibres de silice ……...28

Figure.III.7 : Différents assemblages de textures ……...32

Figure III.8 : essai cisaillement d'un mur Renforcer avec de Bandes de TFC. Barres et de lamelles de FRP ……33

Figure III.9 : représente quelques formes barres et de lamelles de FRP ……...33

Figure III.10 : les types de grillage ……35

Figure III.11 : Renforcement des murs par grillage en acier ……35

Figure III.12 : Renforcement des murs par un grillage en polymère (plastique) ……37

Figure III.13 : Renforcement des murs par un grillage en polymère (plastique) ……37

Chapitre IV : Etude Expérimental

Figure IV.1 : Dimensions des briques perforées ……40

Figure IV.2 : équivalent de sable ……...42

Figure IV.3 : essai Masse volumique apparent ……...43

Figure IV.4 : essai Masse volumique absolue ……43

Figure IV.5 : Séries de tamis (essai analyse granulométrique) ……44

Figure IV.6 : ciment de matine ……45

Figure IV.7 : éprouvettes 4x4x16 cm de mortier ……46

Figure IV.8 : l'essai de résistance à la flexion ……47

Figure IV.9 : l'essai de résistance à la compression ……..48

Figure IV. 10. Préparation de triplet ……..48

Figure IV .11 : Matériel utilisé ……55
Figure IV. 12 : composants A et B de la résine époxy ……...55
Figure IV. 13 : les étapes le mélange des composantes de la résine ……57
Figure IV.14 : Mise en place et l'intégration de tissu de fibres de verre et de résine 57
Figure IV. 15 : triplet renforcé par l'enduit en ciment et grillage …..……59
Figure IV.16 : les étapes de réalisation du renforcement du triplet par grillage ……60
Figure IV.17 : renforcement des murs par différent type de grillage ……...60
Figure VI.18 : Essai de cisaillement sur triplet ….……...61

Chapitre V : résultats expérimentale

Figure V.1 **:** résultats d'essai de compression sur briques ……64
Figure V.2 : Diagramme de cisaillement-déplacement TT ……65
Figure V.3 : Diagramme de cisaillement -déplacement T1 ……....66
Figure V.4 : Diagramme de cisaillement-déplacement T2 ……...66
Figure V.5 : Diagramme de cisaillement-déplacement T3 ……...67
Figure V.6 : diagramme de cisaillement-déplacement T4 ……....67
Figure V.7 : Diagramme de cisaillement-déplacement T5……68
Figure V.8 : Diagramme de cisaillement-déplacement T1'……....68
Figure V.9 : Diagramme de cisaillement-déplacement T2'……....69
Figure V.10 : Diagramme de cisaillement-déplacement T3'……...69
Figure V.11 : Diagramme de cisaillement-déplacement T4'……70
Figure V.12 : Diagramme de cisaillement-déplacement T5'……70
Figure V.13 : Diagramme de cisaillement-déplacement GA1……....71
Figure V.14 : Diagramme de cisaillement-déplacement GA2……....71
Figure V.15 : Diagramme de cisaillement-déplacement GA3 ……72
Figure V.16 : Diagramme de cisaillement-déplacement GP1 ……72

Liste des figures

Figure V.17 : Diagramme de cisaillement-déplacement GP2……..73
Figure V.18 : Diagrammes de cisaillement-déplacement des triplets renforcé par le fibre de verre ……..…….....77
Figure V.19 : Diagrammes de cisaillement-déplacement des triplets renforcé par grillage ……...……..…..77

Introduction :

La **maçonnerie** est l'art de bâtir une construction par l'assemblage de matériaux élémentaires, liés par un mortier. C'est l'art du **maçon** par définition. Par extension, on associe aussi sous le terme « maçonnerie » les travaux d'habillage des ensembles : pose d'enduits, de carrelages, etc., qui, en plus de leur but esthétique, participent à la tenue de l'ensemble face aux agressions externes (humidité, gel, etc.) [1].

I.1 Historique :

La maçonnerie est l'un des matériaux de construction les plus anciens, les vestiges connus de son utilisation remontant au XIVe siècle av. J.-C. À l'origine constitués de briques d'argile, de pierres et de boue séchée, les ouvrages de maçonnerie évoluent graduellement avec l'apparition des fours à briques, de la taille de la pierre et de la découverte de la chaux.[4]

De simples murs, ces ouvrages prennent, avec le temps, la forme d'arches et de dômes, limités seulement par le savoir des architectes et la technique des maçons. L'évolution de la maçonnerie connaît un sommet à l'époque de la Renaissance, les méthodes et les matériaux changeant à peine pendant les trois siècles suivants. [Christine Beall, 1993]

Utilisant des blocs de pierre, d'argile, certaines de ces structures ont traversées les millénaires, les plus célèbres d'entre elles sont sans aucun doute les pyramides Maya et Egyptienne. [3]



Figures 1.1 Pyramide Maya de Tikal (Guatemala) - Pyramide de Khéops à Gizeh (Egypte), [3]

La figure 1.2 présente des tunnels anciens en maçonnerie, subissant l'érosion et les effets du temps, les charges restent les mêmes cependant la résistance de la maçonnerie chute Irrémédiablement avec le temps.

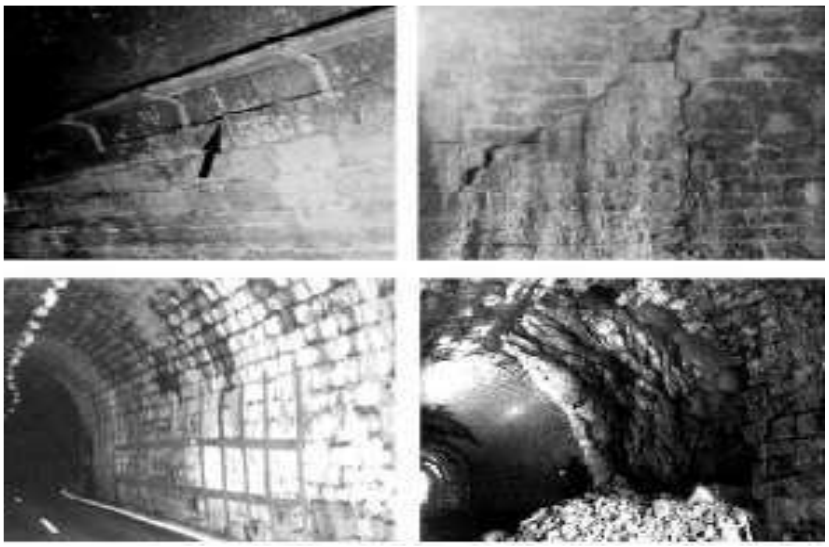


Figure 1.2 **:** Tunnels en maçonnerie, source Science Direct

En Amérique du nord ils ont constaté une utilisation traditionnelle de la maçonnerie dans une construction moderne de plusieurs étages **l'édifice Monadnock** érigé Chicago en 1891,

Les murs de ce dernier atteignent une épaisseur de 2 m à la base de ses 16 étages, et le mur porteur remplacé par les charpentes en acier ou en béton armé (système de reprise des charges).
La maçonnerie ne disparait pas pour autant du paysage urbain mais est reléguée au rang de matériau, de remplissage ou de partition [5].



Figure 1.3 Édifice Monadnock [3]

I.2 Appareillage de la maçonnerie :

L'appareillage d'une maçonnerie définit la manière dont les blocs sont assemblés et est, par conséquent, corrélé à la taille de ces derniers, à l'épaisseur des joints et à l'imbrication de l'assemblage. L'appareillage influe fortement sur les caractéristiques mécaniques de la maçonnerie et sa considération dans toute modélisation du matériau est primordiale.

Les maçonneries dites de blocage ou cyclopéennes (figure 1.4b) sont constituées de blocs généralement non taillés, noyés dans une matrice de mortier et présentent

de très faibles propriétés mécaniques. Entre ces deux cas extrêmes, tous les appareillages intermédiaires sont possibles.





Figure 1.4 Exemple de maçonnerie :a)pierre de taille ; b) maçonnerie cyclopéenne [4]

A l'exception des quelques termes communément admis précités, il n'existe à ce jour ni définition, ni terminologie universellement admises pour qualifier l'appareillage d'une maçonnerie.

Les murs d'assemblage régulier possèdent des comportements mécaniques meilleurs que les murs de blocage [3]. Les murs construits sans l'utilisation de mortier s'appellent « murs de pierres sèches ». Ils sont bâtis par le remplissage de pierres de terrain.

Deuxièmement, la structuration des murs de la maçonnerie varie selon la composition de l'épaisseur du mur entre ;

- Le mur simple composé d'un seul appareil dans son épaisseur.
- Le mur à double appareil dont la connexion, entre les deux parements, est assurée par des « boutisses » qui traversent la section de mur [5].
- les murs composés en plusieurs couches. La couche de milieu se compose souvent de blocage alors que les couches extérieures sont souvent construites avec des pierres plus taillé [6].

L'appareil d'un mur de maçonnerie est la façon dont ses éléments sont assemblés. Les principaux appareils de maçonnerie de pierre sont les suivants:

A) **Irrégulier ou à tout-venant**. Les pierres de grosseur et de forme irrégulières sont disposées librement.

B) **Assisé**. Les pierres, de grosseur variable, sont ébauchées ou équarries et posées d'aplomb sans ordre particulier.

C) **Réglé**. Les pierres ébauchées ou équarries sont mises en place comme dans l'appareil assisé, mais les pierres d'un même rang ont plus ou moins la même hauteur.

D) **À alternance d'assises régulières**. Les pierres sont disposées sur des rangs dont la hauteur varie en alternance.

E) **À assises régulières**. Les pierres sont taillées de longueur variable mais ont toutes la même hauteur.

F) **Régulier**. Les pierres ont toutes les mêmes dimensions en longueur et en hauteur et sont disposées en assises régulières.

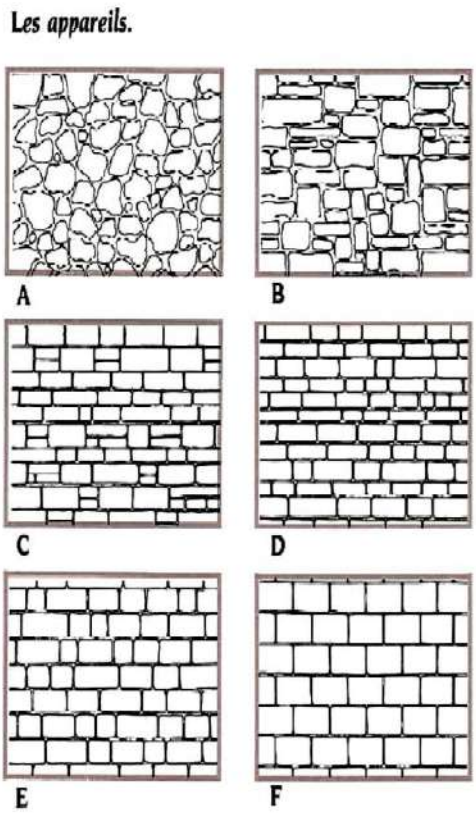


Figure I.5 : Les principaux appareils de la maçonnerie en pierre. Figure et définitions de la guide technique 6 de la ville de Québec : « La maçonnerie de la pierre » [7]

I.3 Les différents types de maçonnerie :

I.3.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les différents types de maçonnerie et leurs modes de fabrication et leurs technologies de construction.

- Maçonnerie de pierre naturelle,
- Maçonnerie en agglomérés de béton,
- Maçonnerie en brique de terre cuite,
- Maçonnerie en briques silico-calcaire

a)Maçonnerie de pierre naturelle :

La construction en pierre naturelle reste la base de la maçonnerie d'une façon générale. La pierre offre un matériau résistant présentant certains avantages économiques lorsque le lieu d'utilisation est proche du lieu d'extraction (voir figure I.6).



Figure I.6 **:** Pierre naturelle taille.

b) Maçonnerie en agglomérés de béton :

Les agglomérés sont constitués d'agrégats (lourds ou légers) dont la cohésion est assurée par un liant hydraulique (voir Figure I.7). Les agglomérés doivent satisfaire à certaines conditions et obéir à certaines exigences :

• Une bonne résistance mécanique.

• Une bonne résistance au gel.

• Une bonne isolation thermique et phonique.

• Assemblage facile dimensions et poids permettant un travail aisé.

Usages	Blocs (CE)	
Tout type de mur	Bloc creux	
Sous-sol enterré, refend, piscine	Bloc plein ou perforé	
Mur de soutènement, piscine	Bloc à bancher	
Jambages, chaînages verticaux, angles	Bloc poteau, feuillures	
About de planchers, cloison séparative	Planelles	
Linteaux, chaînages horizontaux	Bloc chaînages	

Figure I.7 : Les différents types de parpaing (BALANDIER, 1990)

c) Maçonnerie en briques d'argile cuite :

La brique à maçonner en terre cuite possède de remarquables propriétés de durabilité, de résistance, de stabilité, de régulation de l'humidité et d'inertie thermique. Grace à ces performances thermiques et phoniques, la brique à maçonner en terre cuite est adoptée par de nombreux systèmes de construction, tels que le traditionnel ≪double mur≫ ou utilisée en combinaison avec des matériaux isolants intérieurs ou périphériques modernes. Les briques sont obtenues par cuisson de certaines argiles à une température d'environ 1000C. Par combinaison chimique à partir de 700 C, l'argile en perdant son eau, se transforme en terre cuite. L'oxyde de fer des argiles donne la coloration aux briques (BENMESSAOUD et CHEMROUK, 2008).

Généralement Il existe quatre types de briques :

- Briques pleines.
- Briques perforées.
- Briques creuses.
- Brique mono mûr

A. Brique pleine :

La brique pleine possède des faces planes, sans relief. Elle permet de construire des murs porteurs ou des cloisons, et peut être utilisée comme matériau de parement ou être laissée apparente ; est un matériau adaptée au doublage extérieur des maçonneries plus utilisé dans les maisons individuelles en forme de façade.



Figure I.8 : Brique en terre cuite pleine

B. Brique perforée :

Brique comportant des alvéoles perpendiculaires au plan de pose. Elle permet de réaliser des murs porteurs ou des cloisons. Les alvéoles doivent représenter moins de 40% de la surface totale de l'élément.

La maçonnerie de briques perforées offre une excellente résistance à la compression et présente une isolation légèrement supérieure à la brique pleine Certaines de ces briques sont traitées sur une face afin d'offrir une surface esthétique et résistante, et d'autres reçoivent un enduit. Dans le but d'augmenter la résistance à la compression et pour faciliter la mise en œuvre,

Ils existent les blocs perfores qui permettent de réaliser toute l'épaisseur du mur par un seul élément [10].

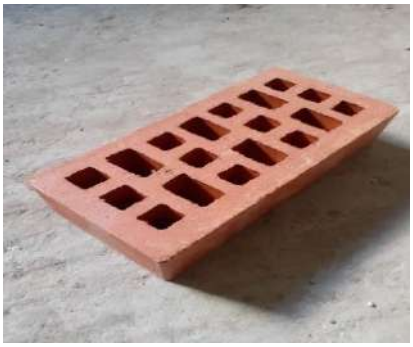


Figure I.9 : Brique perforée

C. Brique creuse :

Brique comportant des alvéoles représentant globalement plus de 40 % de la section totale. Les plus courantes ont des alvéoles parallèles à la grande face, contrairement aux briques perforées.

Une brique creuse est classée en fonction de son usage (structure porteuse, isolation, etc…..) Elle peut être conçue pour des murs porteurs, des cloisons intérieures ou des façades. Elle peut avoir une variété de formes, de motifs et de finitions et peut parfois être destinée à l'amélioration de l'isolation ou de la ventilation d'un bâtiment.

Elle est légère et économe en matériau en comparaison a une brique pleine, une brique creuse est conçue pour une variété d'applications dont l'isolation, la ventilation, la construction de façades.

Certaines briques creuses peuvent être remplies et disposer des barres de renforcement pour améliorer la force de tension et de torsion d'une structure.

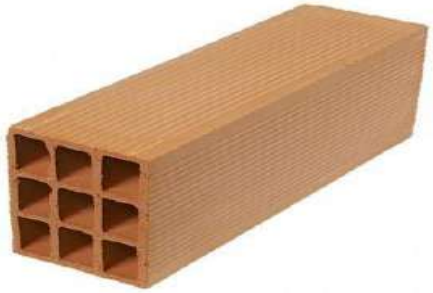


Figure I.10 Brique creuse

D. Brique mono mur :

Un brique mono mur est beaucoup plus épais que les autres briques et transpercée de nombreuses alvéoles. Elles sont utilisées essentiellement en murs extérieurs.

Sa capacité à isoler aussi bien phoniquement que thermiquement. Elle se passe d'isolation, ce qui implique de casser pour passer les câbles électrique et la plomberie à l'intérieur.

C'est donc un matériau avec lequel il faut compter mais qui est plus cher qu'une construction en béton, isolation déduite

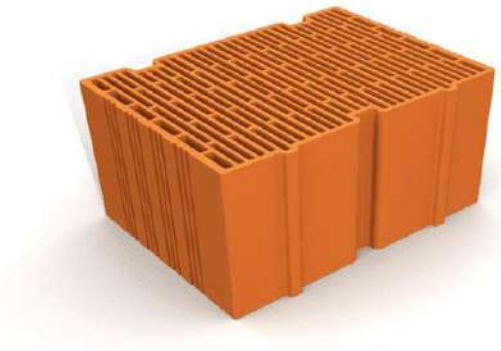


Figure I.11 Brique mono mur

d).Maçonnerie en briques Silico – calcaire :

Les briques silico-calcaires sont fabriquées avec des produits naturels que sont le sable, la chaux et l'eau. La fabrication des briques silico-calcaires consiste `à comprimer un ´mélange de silice 90% et de la chaux grasse `a une pression de 30 MPA et `à soumettre ce mélange `a un jet de vapeur d'eau sous pression pendant plusieurs heures. Ces briques sont des matériaux de remplissage, la rugosité es surfaces permet l'accrochage des enduits. L'emploi des silico-calcaires légère ou denses donne des résistances `a la compression qui peuvent aller respectivement jusqu'au 7 MPa pour des densités de l'ordre de 0,8 et jusqu'`a 60 MPa pour les densités d'ordre de 2,2.

I.4.Les joints de mortier :

Les caractéristiques mécaniques du mortier dépendent essentiellement de la phase de préparation (mise en œuvre) et de la phase finale c'est-à-dire après le durcissement.

La première phase est fonction de l'ouvrabilité du mortier. Cette caractéristique est généralement définie par le maçon. On ne peut pas lui donner une signification précise par manque de norme spécifique le concernant. Ce qu'il faut retenir c'est que pendant cette phase, le mortier doit avoir une certaine viscosité, être facile à écarter avec une truelle et impérativement coller sur les surfaces verticales. [8]

Les agents au les adjuvants qui peuvent augmenter l'ouvrabilité du mortier sont la taille des agrégats et la quantité d'eau utilisée pour le malaxage. L'entrainement d'air est un additif qui crée des bulles d'air minuscules dans le mélange. Ces bulles vont aider les ingrédients du mortier à se déplacer plus librement. Par ailleurs, elles vont réduire la résistance du matériau puisque la densité et la surface de liaison entre les unités de maçonnerie vont être naturellement affaiblies. [8]

L'hétérogénéité des constituants du mortier, les phénomènes de prise, de durcissement, de retrait et d'usage donnent à ce matériau une certaine spécificité qui est souvent difficile à prendre en compte dans les calculs. Ces paramètres du

mortier sont contrôles par le choix des granulats et des liants et par leurs pourcentages respectifs dans le mélange. Le sable est généralement le granulat employé. Il est inerte dans la réaction chimique d'hydratation, mais participe à la compacité du mortier durci. Dans les constructions modernes, il doit répondre à des exigences de granulométrie pour conférer plus au moins au mortier son homogénéité.

Les liants sont de nature variée ce qui leur donne des caractéristiques mécaniques diérèses. Ils sont donc très différents suivant leur conception et leur emploi.

Les mortiers anciens étaient à base de chaux, ils possédaient une très bonne viscosité, mais leur résistance mécanique était faible et leur durcissement lent. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive, est la base du mortier traditionnel rencontré dans les édifices anciens. Pour des raisons de coût, la chaux hydratée sèche est la plus utilisée aujourd'hui.

- La terre argileuse est un type de liant qui a été utilisé dans les constructions traditionnelles. On le reconnait à sa résistance qui est mauvaise avec le temps.
- Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante. Cette dernière a une consistance de départ plus ou moins fluide, se transforme en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

La résistance à la compression du mortier est parfois considérée comme critère principal pour choisir le type de mortier, puisqu'elle est relativement facile à mesurer. Elle se relie généralement à quelques autres propriétés, comme la résistance à la traction et le pouvoir de rétention d'eau du mortier. La résistance à la compression du mortier dépend en grande partie du contenu du ciment (la chaux et le sable) utilise et du rapport (E/C) eau-ciment. Par exemple, le rapport E/C est égal à 0,5 pour un mortier normal de type (EN 196-1).

I.5.Conclusion :

La maçonnerie est considérée comme la technique de construction la plus ancienne et la plus répandue, elle est applicable par toutes les entreprises, et en particulier par l'artisan maçon qui réalise la plupart des constructions pavillonnaires. Elle se caractérise par ses matériaux support ; brique, parpaing, mortier ou chacun d'entre eux présente des avantages, particulièrement le cout de réalisation et la facilite de transport dans les chantiers. Notre intérêt dans cette étude est de prédire le comportement des structures par rapport au cisaillement.

II.1 Pathologies de la maçonnerie :

La fonction « paroi » est, elle, victime de fréquents problèmes d'origines diverses :

- Des erreurs de conception et de choix des matériaux.
- Mauvaise qualité des matériaux.
- Infiltrations d'eau.
- Des contraintes dues à des tassements différentiels, ou séismes.
- Des poussées horizontales perpendiculaires au plan des murs, causées par les vents.

Ceci introduit des sollicitations de flexion, compression et cisaillement, qui nécessite l'étude de son comportement suivant les deux directions perpendiculaire et Parallèle au joint de mortier.

II.2 Les propriétés mécaniques de la maçonnerie :

Les murs de maçonnerie sont exposés aux chargements verticaux et latéraux dans leur plan. Tandis que la maçonnerie a une structure non-isotrope, son Comportement sous chargement bi-axial et le mode de rupture sont influencés par la direction de charges et les valeurs de chargements appliqués

II.3 Mode de rupture de la maçonnerie :

Le comportement des portiques remplis de maçonnerie est défini par les différentes modes de rupture cite ci-dessous (voir figure II.1).

a) Rupture par glissement

Ce mode de rupture est causé par l'alternance de l'action sismique où des fissures horizontales apparaissent au niveau du mortier horizontal. Ainsi, des plans de glissements se forment le long de ces fissures. Ce mode de rupture peut se produire pour les niveaux de charge verticale faible ou pour de faibles coefficients de friction. (Figure II.1.a)

b) Rupture par basculement

Ce mode de rupture est base sur la résistance en compression du coin comprime. Le basculement se produit lorsque la charge ou le déplacement horizontal augmentent, le joint se rompe en traction, et l'effort tranchant est conduit par la maçonnerie en compression. (Figure II.1.b)

c) Rupture par cisaillement

Ce mode de rupture est causé par la formation et le développement des fissures diagonales. Ces fissures peuvent suivre le joint (forme d'escalier) ou se former à travers les blocs. Le chemin dépend de la résistance relative du mortier par rapport à celle de la brique. (Figure II.1.c)

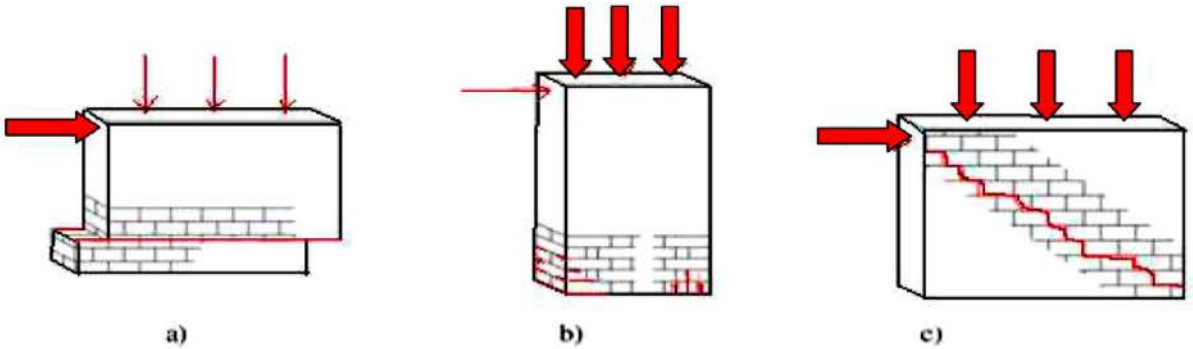


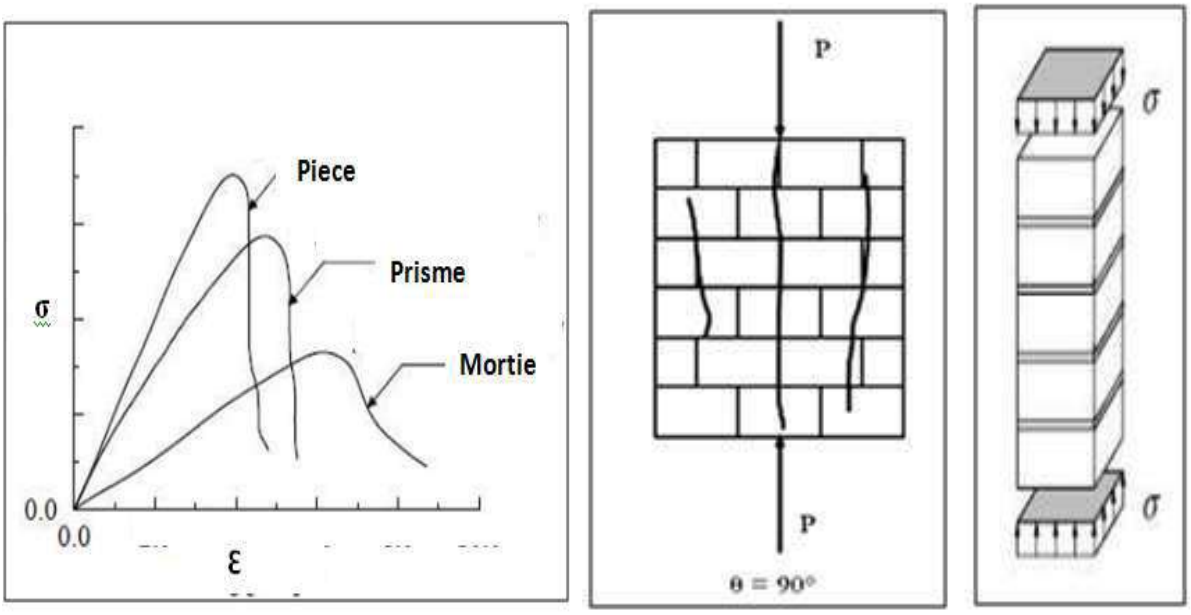
Figure II.1 Comportement des murs remplis de maçonnerie [11] ;
a) rupture par glissement ;b) rupture par basculement ;c) rupture par cisaillement

II.4 Comportement en compression de la maçonnerie :

La résistance à la compression des maçonneries se mesure dans la direction normale aux joints horizontaux.

Les modes de rupture constaté est se forme des fissures verticales qui apparaissent initialement sur les briques tout au long de la ligne médiane du spécimen, qui se continue au niveau des joints de mortier verticaux. Ces fissures apparaissent de plus en plus, ce qui conduit à la rupture du prisme par une cassure au milieu de celui-ci. L'exemple illustrant ce cas est dévoilé par la (figure II.2-a).

L'expérience [Page, 1978] indiqué que la résistance du prisme est supérieure à celle du mortier et inférieure à celle de la pièce de maçonnerie isolée (figure II.2-b).



(a) (b)

Figure II.2 Comportement de prismes en compression

D'autre part, Zucchi ni et al considèrent que le comportement de la maçonnerie en compression dépend essentiellement de la résistance en compression et de traction de blocs.

D'ailleurs d'après, pour un mortier de faible résistance, la pierre est soumise, au niveau de joints, à une traction bi-axial qui accompagne la compression verticale de la pierre. En revanche, si le mortier est beaucoup plus résistant et rigide, la pierre est soumise à un état de compression triaxial (figure II.3).

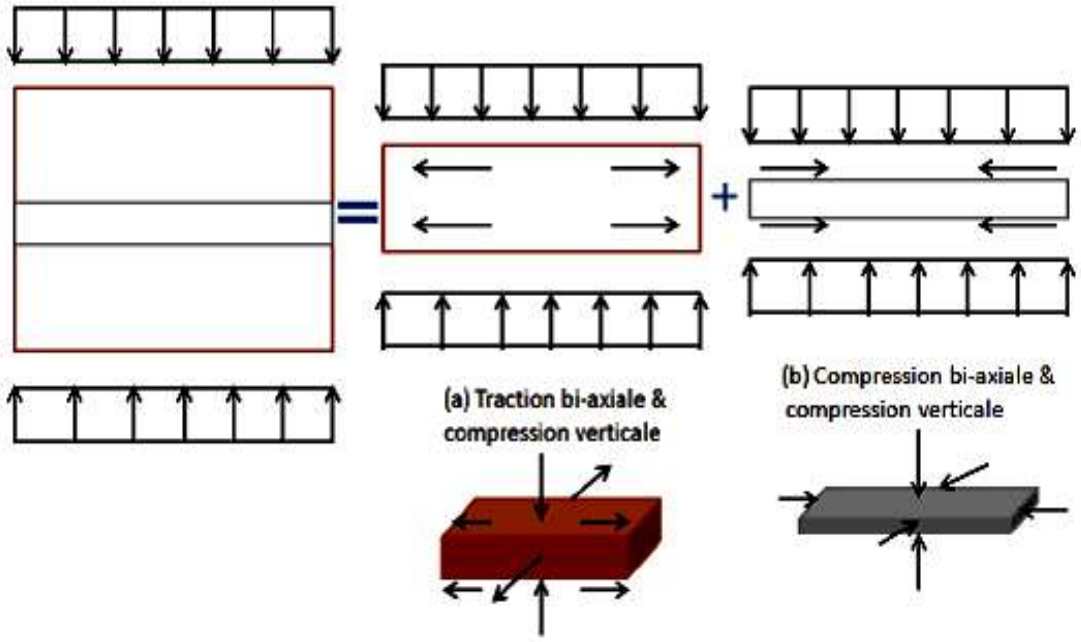


Figure II.3 **:** Etat de contrainte dans une éprouvette prismatique de la maçonnerie, (a) dans les pierres, (b) dans le mortier.

II.5 Résistance à la flexion (hors plan) :

Si un mur est appuyé horizontalement sur sa barre supérieure et inferieur, sa résistance latérale dépend de la résistance à la traction de flexion développée à travers le joint.

Lorsque le mur est appuyé verticalement sur ces deux extrémités sa résistance latérale dépend aussi de la résistance à la traction de flexion développée le long de la direction perpendiculaire au lit de joint Cette résistance est généralement trois fois plus grande que celle à travers les joints si l'adhésion (mortier-brique) est bonne.

Aussi, la résistance à la flexion parallèle au lit du joint est conditionnée par la résistance à la traction de flexion des briques, si l'adhésion est mauvaise, cette résistance est conditionnée

Principalement par la résistance au cisaillement développe dans le joint à l'interface brique-mortier

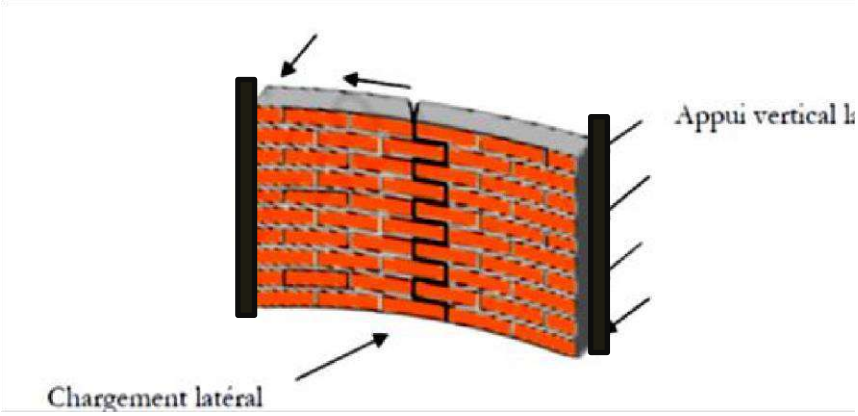


Figure II.4 : Rupture le long de la ligne perpendiculaire aux lits (CHERRABI.A, 1990)

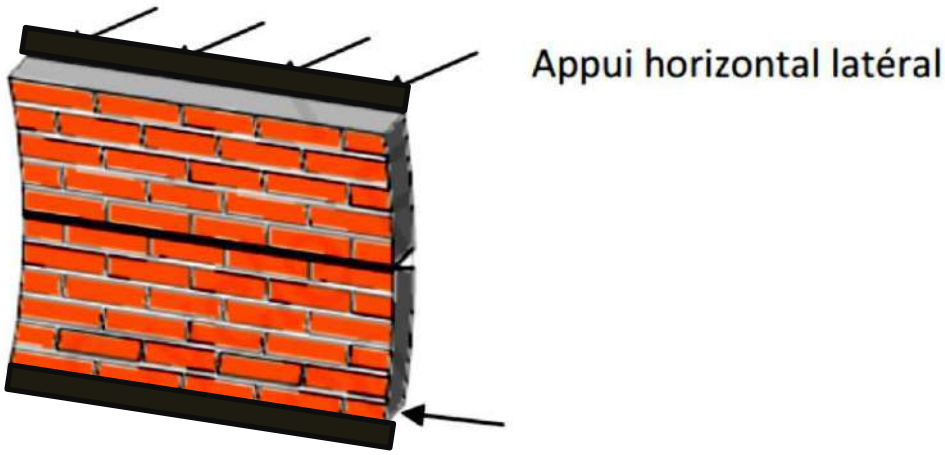


Figure II.5 : Rupture le long de la ligne parallèle aux lits des joints (CHERRABI.A, 1990)

II.6 Résistance des murs a la traction :

La maçonnerie constitue avec des mortiers traditionnels à une résistance très limitée face aux efforts de traction pure. Dans le cas d'une structure maçonnerie soumise à une charge de traction dans le sens perpendiculaire aux joints horizontaux, la rupture est causée par le décollement entre briques et le mortier. Le comportement à la traction peut être caractérisé par la résistance d'adhérence entre la brique et le joint de mortier.

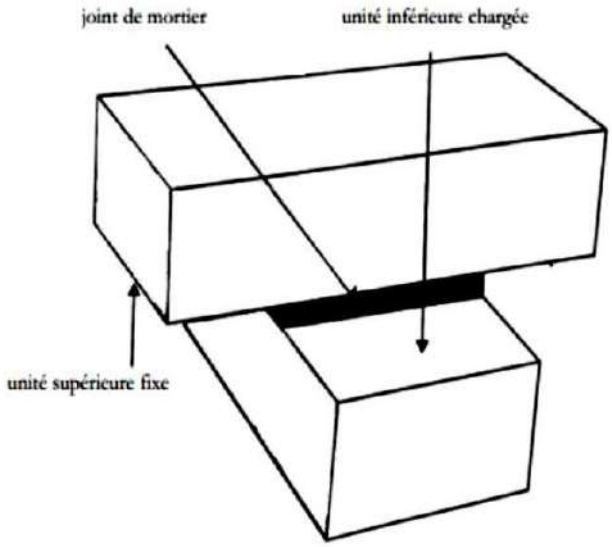


Figure II.6 : Résistance à la traction [11]

II.7 Comportement vis-à-vis de la charge concentrée :

Les charges concentrées, sont dues aux impacts d'extrémités de poutre, de linteaux Ou arcs, .etc. Page et Hendry (Page et col, 1987) ont étudié expérimentalement et analytiquement le comportement de la maçonnerie sous une charge concentrée.

Généralement, le comportement vis-à-vis de la charge concentrée est influe par les facteurs suivants qui augmentent la contrainte dans la zone charger :

- La position de la charge le long du mur,



- si la charge se prolonge à travers la pleine largeur du mur ou est limitée à une partie de la largeur



- si la charge est appliquée par une plaque rigide ou flexible,



- le type et la résistance des matériaux de maçonnerie,



- le rapport de longueur-largeur du mur et de son épaisseur,



- le rapport de la section chargée a la longueur du mur



- l'application des charges multiples.



Par contre Kirtschig et Kasten (KIRTICHING.K, et al. 1979) ont trouvé qu'il n'y a aucune augmentation de contrainte pour les charges concentrées appliquées a l'extrémité d'un mur construit avec des blocs de maçonnerie perfores. Les résultats obtenus par Page et col. [Page et col, 1987] sur les charges concentrées ont prouvé que le mode de rupture pour ce type de chargement se produit dans les fentes des blocs plutôt que par une rupture verticale.

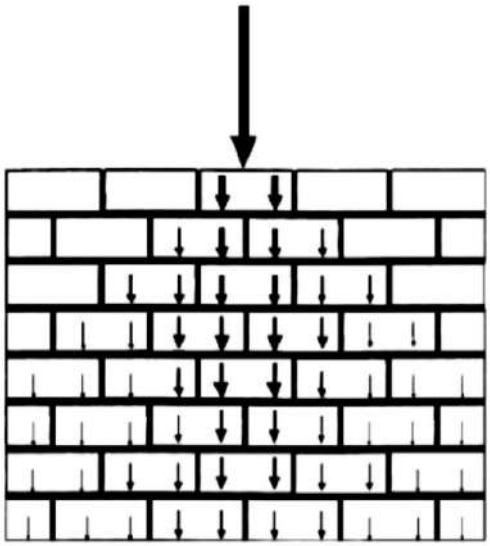


Figure II.9. Propagation de la charge concentrée d'un mur [11]

II.8 Conclusion :

L'analyse bibliographique nous a permet de constater que le comportement des maçonneries est en fonction de types de chargement des conditions d'appui et des propriétés des briques et des joint de mortier.

III.1 Introduction :

Un matériau composite est un assemblage d'au moins de deux matériaux non miscibles, mais pouvant se combiner **(Fig.III.1).** En combinant deux phases différentes ou plus nommées renforts et matrice**.** Les renforts et la matrice sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases. Les renforts se présentent sous forme de fibres continues ou discontinues.

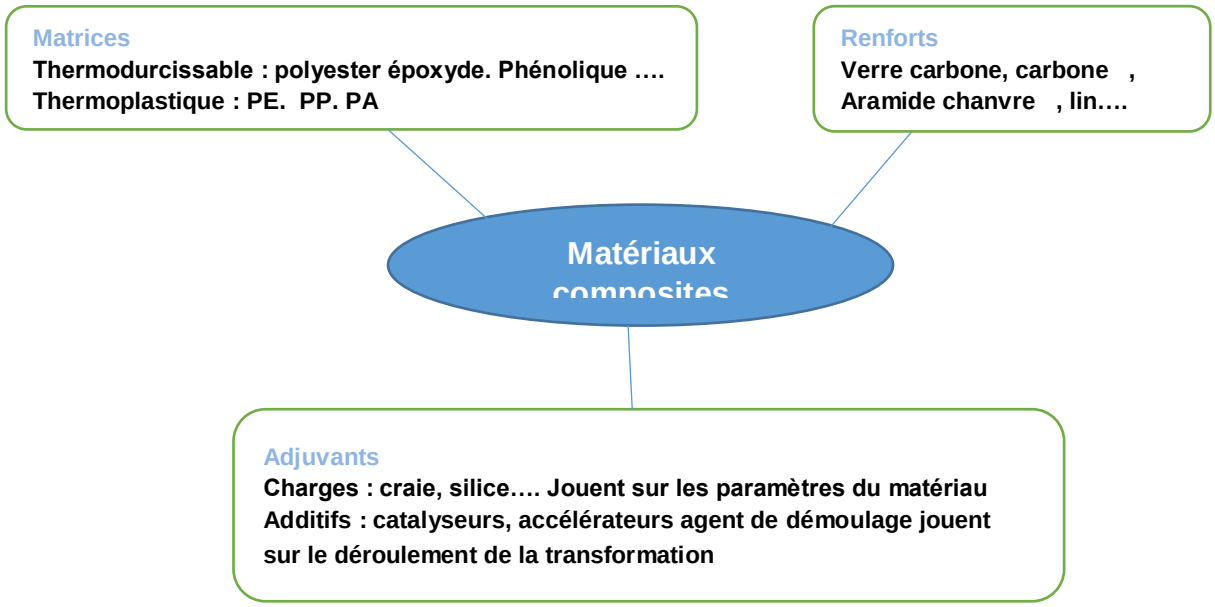


Fig. III.1 : Les constituants d'un matériau composite.

Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques **(Fig.III.2).** L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure, ces performances remarquables sont à l'origine de solutions technologiques innovantes **[12]**

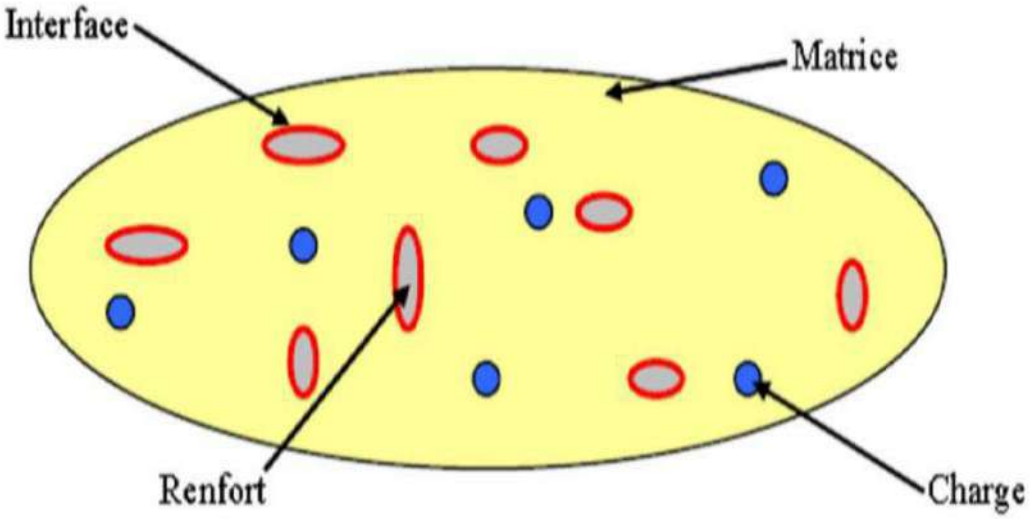


Fig.III.2 : Représentation schématique d'un matériau composite.

III.2 Les différents types de fibre :

a) **Fibres de verre :**

Elles sont en général fabriquées à partir de la fusion et de l'extrusion de silice associée à divers oxyde. On distingue différents types de fibre **[13] :**

Les caractéristiques mécaniques des fibres de verre décrites ci/dessus sont résumées dans le Tableau.III.1. **. [13]**

Tableau III.1 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre**.**

Caractéristiques	Résistance en ~~traction~~ (MPa)	Module en traction (GPa)	Allongement à la rupture (%)	
Type E	**3500**	**73.5**	**4.5**	le plus courant, bonnes propriétés diélectriques
Type D	**2450**	**52,5**	**4,5**	applications de construction ou électronique, propriétés diélectriques supérieures
Type C	**2800**	**70**	**4**	très résistant chimiquement ; utilisé pour les applications anticorrosion ;
Type R	**4650**	**86,5**	**5,3**	applications haute performance ; résistance en traction et module d'élasticité très élevées
Type S	**4650**	**86,5**	**5,3**	

La figure.III.3 représente les différentes formes des fibres de verre.

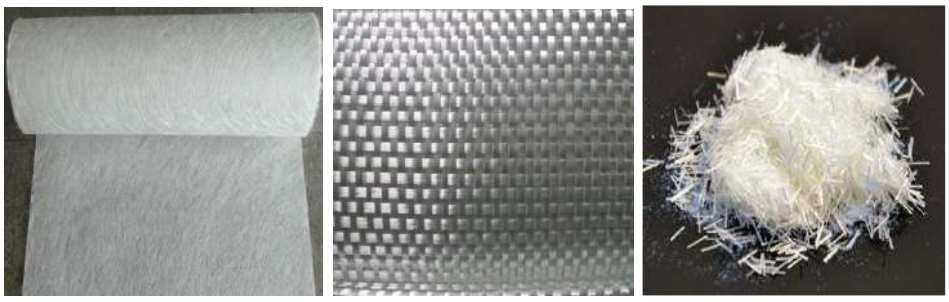


Fig.III.3 : Fibres de verre.

L'utilisation des fibres de verre dans les composites est principalement limitée par un vieillissement accéléré au contact prolongé de l'eau, des rayonnements UV ou de T° élevées **[14].**

b) Fibres de carbone :

Les fibres de carbone sont pour la plupart obtenues à partir d'une fibre précurseur de type polyacrylonitrile (**PAN**). Ces fibres subissent une étape d'oxydation pour faire réticuler le PAN et le rendre ainsi moins « fusible » en vue des traitements thermiques ultérieurs. Elles sont ensuite soumises à une seconde étape, qui peut être une carbonisation à 1500°C ou à une graphitisation à 3000°C. Pendant cette étape, les fibres sont maintenues sous tension afin de conserver l'orientation de la structure moléculaire. Dans le premier cas, on obtient des fibres haute résistances ou HR, et dans le deuxième cas, on obtient des fibres haut module ou HM. Il existe également des fibres de module intermédiaire (Tableau.III.2). **[13]**

Tableau.III.2 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone.

Caractéristiques	**Fibres HR**	**Fibres HM**	**Fibres IM**
Résistance en traction (MPa)	3400-4500	2000-2500	4800
Module en traction (GPa)	230-250	390-450	296
Allongement à la rupture (%)	1,4-1,8	0,5-0,6	2
Résistance en compression (Mpa)	2200-2800	1300-1700	-

Les fibres de carbone continues sont disponibles sous diverses formes de mèches de 3000 à 24000 filaments, de fibres coupées, de rubans ou bien encore de tissus (Fig. Ⅲ.4), qu'ils soient uni ou multidirectionnels. Elles ont également un coefficient de dilatation très faible, une conductivité thermique élevée. En revanche, certains inconvénients demeurent comme leur résistance limitée aux chocs, une faible résistance à l'abrasion **[13].**

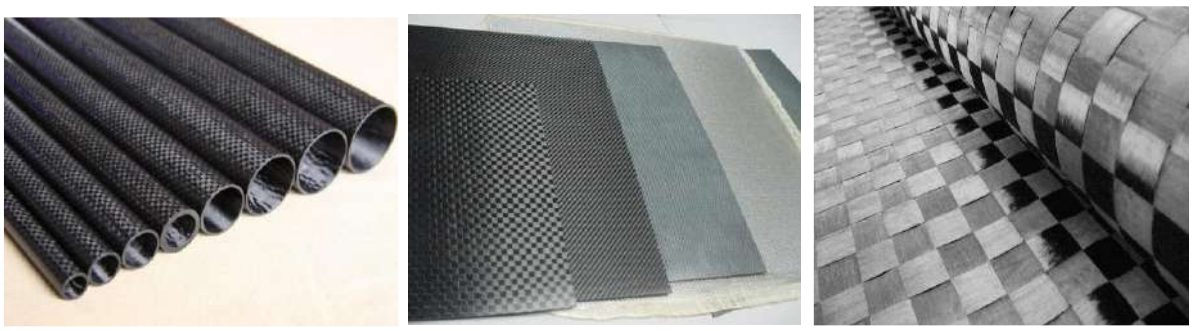


Fig.III.4 : Fibres de carbone

***c*) Fibres de bore :**

Elles peuvent être noyées sans difficulté dans des matrices métalliques et également organiques. Pourtant leur fabrication ne se fait pas facilement.

Le bore est dur, fragile, rigide et ne peut pas être étiré. Par conséquent la fabrication des fibres de bore se fait par dépôt en phase vapeur du bore sur un filament de tungstène. Les fibres de bore possèdent des propriétés élevées en traction mais il faut également noter leurs bonnes propriétés en compression. **[15]**

d) Fibres d'aramide :

Les fibres d'aramide (ou para-aramide) sont plus connues sous leurs noms commerciaux (Kevlar, Nomex, Twaron...) et présentent de très bonnes propriétés de rupture en traction et possèdent une faible densité. Pourtant, elles sont très mauvaises en compression et attestent d'une reprise d'humidité importante. Leur utilisation dans les matériaux composites constitue environ 5% de leur consommation totale**. [16]**

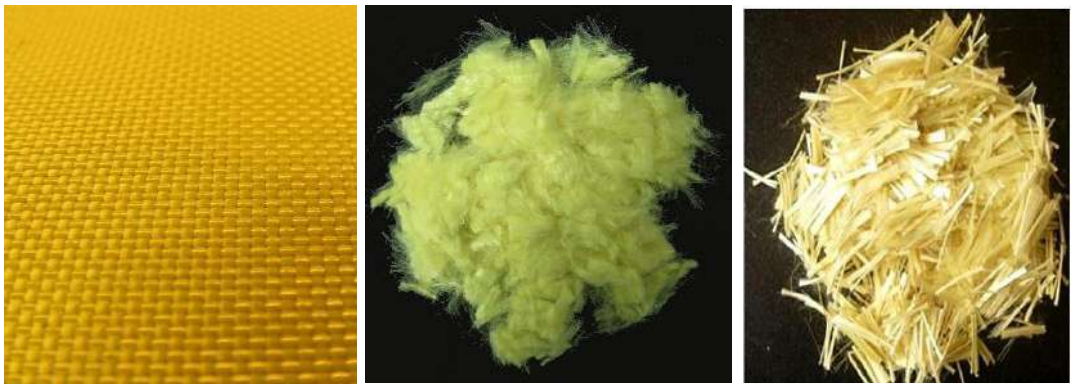


Fig.III.5 : Fibres d'aramide.

e) Fibre de silice (ou de quartz) :

Elles sont produites comme le verre, par fusion, et sont essentiellement utilisées pour leur haute tenue chimique et thermique dans les tuyères pour moteur de fusée**. [17]**



Fig.III.6 : Fibres de silice.

III.3 Les avantages et les inconvénients des matériaux composites :

III.3.1 Avantages des matériaux composites :

-Gain de masse ;

-Mise en forme de pièces complexes (principe du moulage) et réduction du nombre d'interfaces (boulonnage, rivetage et soudure sur structures métalliques) ;

-Grande résistance à la fatigue ;

-Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion (sauf en cas de contact entre de l'aluminium et des fibres de carbone) ;

-Insensibles aux produits chimiques "mécaniques " comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvants, pétrole**.**

III.3.2 Inconvénients des matériaux composites :

-Vieillissement sous l'action de l'eau et de la température ;

-Attention aux décapants de peinture qui attaquent les résines époxydes ;

-Tenue à l'impact moyenne par rapport aux métalliques ;

-Meilleure tenue au feu (classement M) que les alliages légers mais émission de fumées (classement F) parfois toxiques pour certaines matrices ;

-Coût parfois prohibitifs (temps et coût études et mise en œuvre), le gain en coût est surtout valable pour des grandes séries**.**

III.4 Constitution des matériaux composite :

III.4.1 La matrice :

La matrice permet de lier les fibres du renfort fibreux entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres. Généralement, c'est un polymère ou une résine organique. **[18]**

Il existe deux grandes familles de résine, les résines thermoplastiques et les résines Thermodurcissables :

***a*) Résines thermodurcissables :**

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants **[19]**

Principalement nous avons :

Polyesters insaturés :

C'est la résine la plus utilisée dans le cas de composites de grande distribution. Une résine de polyester insaturé contenant un monomère insaturé est réticulée à température ambiante. Par addition d'un catalyseur de type peroxyde organique et d'un accélérateur, elle passe successivement de l'état liquide visqueux à l'état solide en passant par un état de gel. La réaction de durcissement dépend de la réactivité de la résine, de la forme de l'objet fabriqué (épaisseur, etc.) **[20]**, Les avantages et les inconvénients de la résine Polyesters insaturés sont représentés dans le tableau (III.3)

Tableau III.3. Avantages et inconvénients de la résine Polyesters insaturés [20].

Avantages	Inconvénients
- Bonne accroche sur fibres de verre - Bonne résistance chimique - Mise en oeuvre facile - Tenue en température (> 150 °c) - Prix réduit	- Inflammabilité (sauf résines chlorées) - Tenue vapeur et eau bouillante - Retrait important (6 à 15 %) - Durée de conservation en pot limitée

Epoxydes :

Les matrices époxydes sont utilisées dans la fabrication de composites hautes performances. Elles sont obtenues par condensation de bisphénol A avec l'épichlorhydrine du glycérol en milieu basique. Le polymère présente des groupements fonctionnels époxydes qui génèrent la

réticulation par le biais d'une réaction chimique de polyaddition et l'utilisation d'un durcisseur de type amine. Cette réaction plutôt lente, est souvent complétée d'une post-cuisson afin d'obtenir des propriétés mécaniques optimales **[21].**

Tableau III.4. Avantages et inconvénients de la résine époxyde [20]

Avantages	Inconvénients
- Tenue mécanique - Tenue thermique - Tenue chimique - Tenue Fatigue - Faible retrait (1 à 2%) - Excellente adhérence sur fibres - Mise en œuvre facile	- Prix élevé - Sensibilité à l'humidité - Vieillissement sous température - Sensibilité aux chocs

***b*) Résines thermoplastiques (TP) :**

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température.

Elles se répartissent en différentes familles :

-Polyamide (PA), tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures.

-Poly téréphtalate éthylénique et butylénique (PET, PBT), bonne rigidité, bonne Ténacité. Polycarbonate (PC), tenue au choc.

-Polysulfure de phénylène (PPS), résistance à l'hydrolyse.

-Polyoxyméthylène (POM), bonne tenue à la fatigue

-Polysulfures (PSU et PPS), bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, Tenue au chaud.

-Polypropylène (PP), peu onéreux et assez stable en température, mais combustible.

-Polyamide-imide (PAI).

-Polyéther-imide (PEI).

-Polyéther-sulfone (PES).

-Polyéther-éther-cétone (PEEK).

III.5 Les renforts :

Le renfort, souvent sous forme de fibres, sert au transfert des charges mécaniques. Les fibres ont une forme remarquable dans la matrice qui possède des propriétés qui s'approchent de plus en plus de celles prévues par la théorie. Ces propriétés sont impressionnantes à cause de leur forme et des moyens de fabrication. La structure moléculaire d'une fibre est généralement alignée dans le sens de l'axe de fibre ce qui produit une structure forte dans cette direction. **[15]**

III.5.1 Architecture de renforcement :

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent de moins bonnes performances en compression et cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée.

Il existe différentes géométries et textures de renforts : les mats, les tissés, les Unidirectionnels, les tricots et les multidirectionnels.

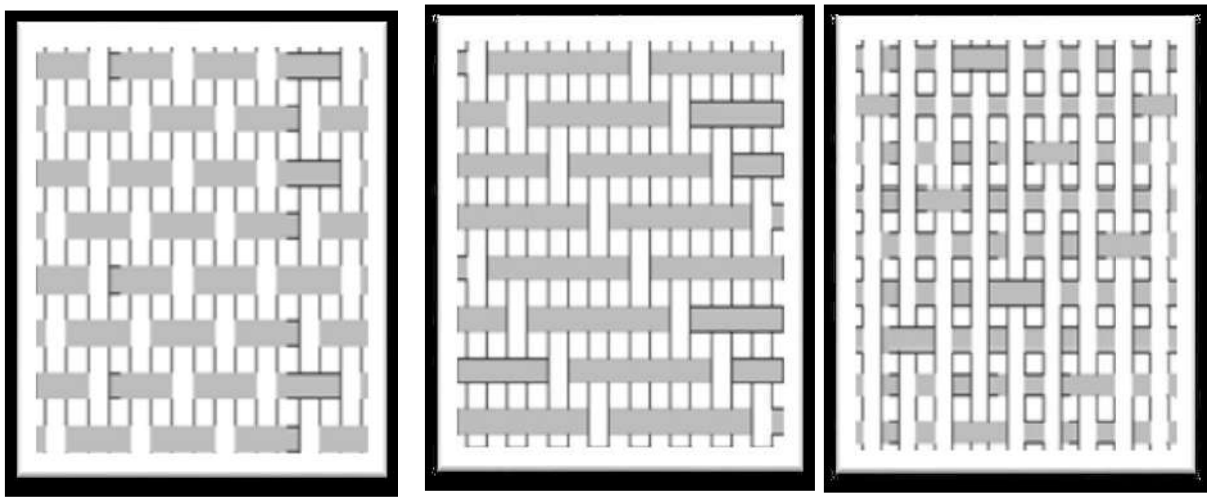
-***Les mats :*** sont des nappes de filaments, de fibres discontinues, disposés sans orientations préférentielles et maintenus ensemble par un liant soluble. Ce sont des matériaux déformables, quasi-isotropes dans leur plan et peu coûteux malgré des propriétés mécaniques moindres.

-***Les tissus :*** sont réalisés sur des métiers à tisser. Ils sont obtenus par entrecroisement des mèches selon deux directions perpendiculaires : chaîne et trame. Ils peuvent avoir différentes armures : la toile ou le taffetas, le sergé et le satin. L'armure contrôle la rigidité du tissu.

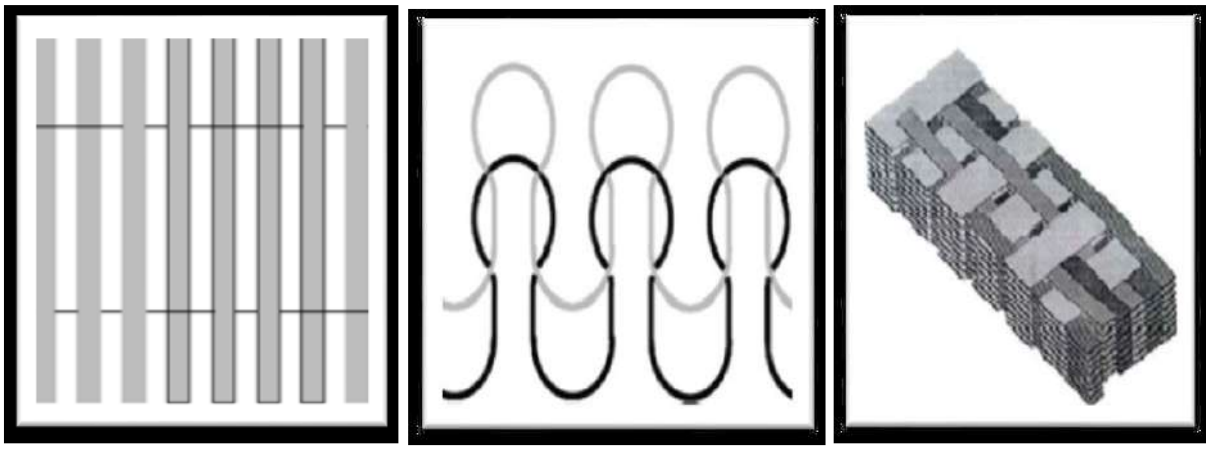
-***Les unidirectionnelles :*** sont constituées de fils de chaînes maintenus par des fils de trame fins.

-Les tricots sont formés par bouclage d'un ou plusieurs fils et offrent de plus grandes possibilités de motifs que le tissage. Leur principale caractéristique est leur déformabilité.

-Les multidirectionnels sont des structures 3D formées de fibres orientées dans plusieurs directions de l'espace. Les différentes couches sont liées entre elles, et dans l'objectif de mettre en forme les composites par estampage, cette architecture n'est pas envisagée **[22]**



Taffetas **Sergé 3x1** **Satin de 8**



. **Unidirectionnel** **Tricot** **Multidirectionnel**

Fig. III.7 : Différents assemblages de textures.

III.6 Différents types de renforcement d'une fibre polymère :

III.6.1 Renforcement par tissus de fibre de carbone :

Le FRP utilisé pour le renforcement des structures se trouve sous forme de tissus. L'application de tissus de FRP s'effectue par collage sur la surface extérieure.

Les tissus sont secs ou pré-imprégnées par une matrice polymérique. Alors que les la melles sont des plaques rigides préfabriquées qui s'installent par collage avec une résine chargée époxy.

La (Figure III.8) représente un mur renforcé par collage de tissus de CFRP sur la surface extérieure. Les barres de FRP peuvent avoir une surface sablée, déformée ou lisse. La rugosité de la surface des barres influence le comportement d'adhésion entre la barre et l'adhésive. La

(Figure III.9) représente quelques formes de barres et de lamelles de FRP.



Figure III.8 : essai cisaillement d'un mur Renforcer avec. représente quelques formes de Bandes de TFC. barres et de lamelles de FRP.

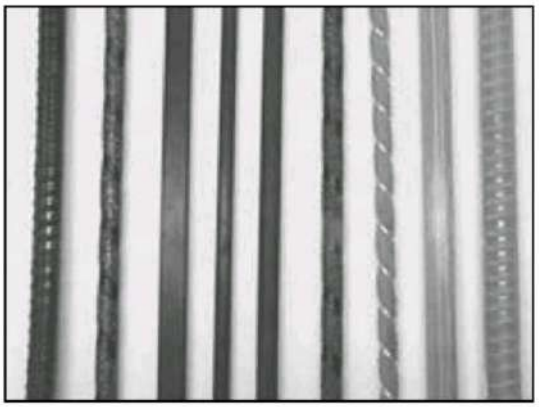


Figure III.9 : Barres et de lamelles de FRP.

III. 6.2 Renforcement par grillage :

Le Renforcement du mur par grillage est une méthode ancienne. Il compte différentes techniques d'utilisation du grillage en acier, plastique etc. Ce renforcement couvre l'extérieur de la maçonnerie et renouvèle l'architecture ou l'aspect historique. Le Renforcement par grillage augmente de manière significative la capacité de dissipation de l'énergie due au séisme.
Généralement ; Le renforcement par grillage se compose d'un mortier de ciment mince posé sur un treillis métallique ou plastique qui agit comme renfort.

III.6.2.1 Le renforcement par grillage en treillis en acier :

Cette technique de mise en conformité se dissipe haute énergie due à successive l'allongement et le rendement de l'armature en tension. Il améliore à la fois le comportement dans le plan et hors-plan du mur.

Les propriétés mécaniques de grillage dépendront de propriétés de maillage et les trous de grillage. (**Figure III.11**).

Le maille de renforcement contribue à confiner les éléments de maçonnerie après fissuration et améliore dans le plan inélastique ainsi la capacité de déformation ultime.

Cette technique de montage augmente la résistance dans le plan latéral et améliore la paroi hors du plan de stabilité.et arrondir l'action car elle augmente la résistance du mur par rapport au mur non renforcer. Une autre technique est représentée par l'application d'un plâtre renforcé à la paroi.



Figure III.10 : les types de grillage.

L'amélioration de la résistance dépend de l'épaisseur de la couche de renforcement, la résistance du mortier de ciment, la quantité de renforcement et des moyens de sa liaison avec la paroi de mur, et le degré de résistance de maçonnerie.

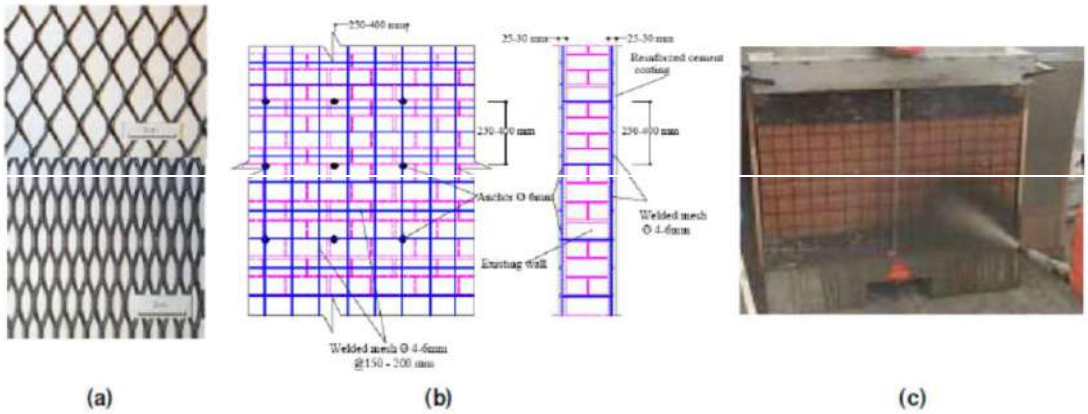


Figure III.11 : Renforcement des murs par grillage en acier.

(a); agencement typique de renforcée plâtre

(b); application de couche de revêtement

(c) . Renforcement par grillage représente une solution idéale.

L'emplacement de mortier peut être pulvérisé sur la surface d'un mur de maçonnerie sur un grillage de renforcement, Le grillage est plus pratique et moins coûteux il ne demande pas beaucoup de moyen. L'épaisseur du grillage et de la couche de mortier peut être adaptée à la demande sismique. En général, l'épaisseur du revêtement est d'au moins 60 mm. Afin de transférer le cisaillement le grillage doit être bien fixé sur le mur pour que le grillage ne glisse pas au cas de cisaillement du mur et rupture les joints de brique.

III.6.2.2 : Le renforcement par grillage en treillis en plastique :

Le seul inconvénient de ce type de matériau c'est bien le cas de l'incendier puisque le plastique ne résiste pas au feu.

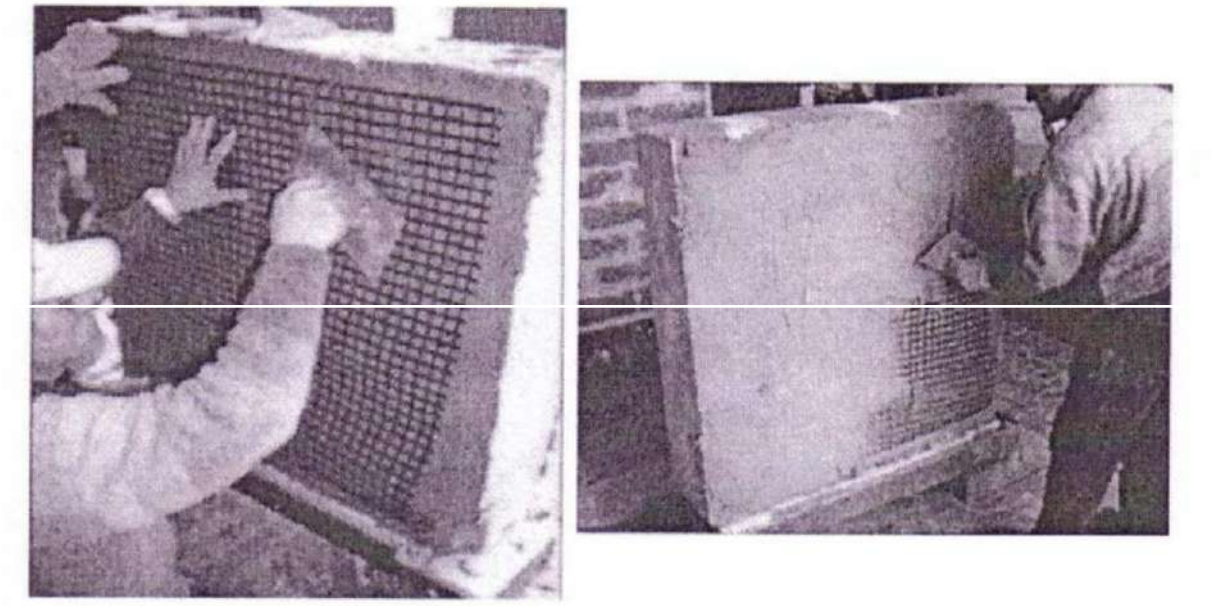


Figure III.12 : Renforcement des murs par un grillage en polymère (plastique)**[23].**

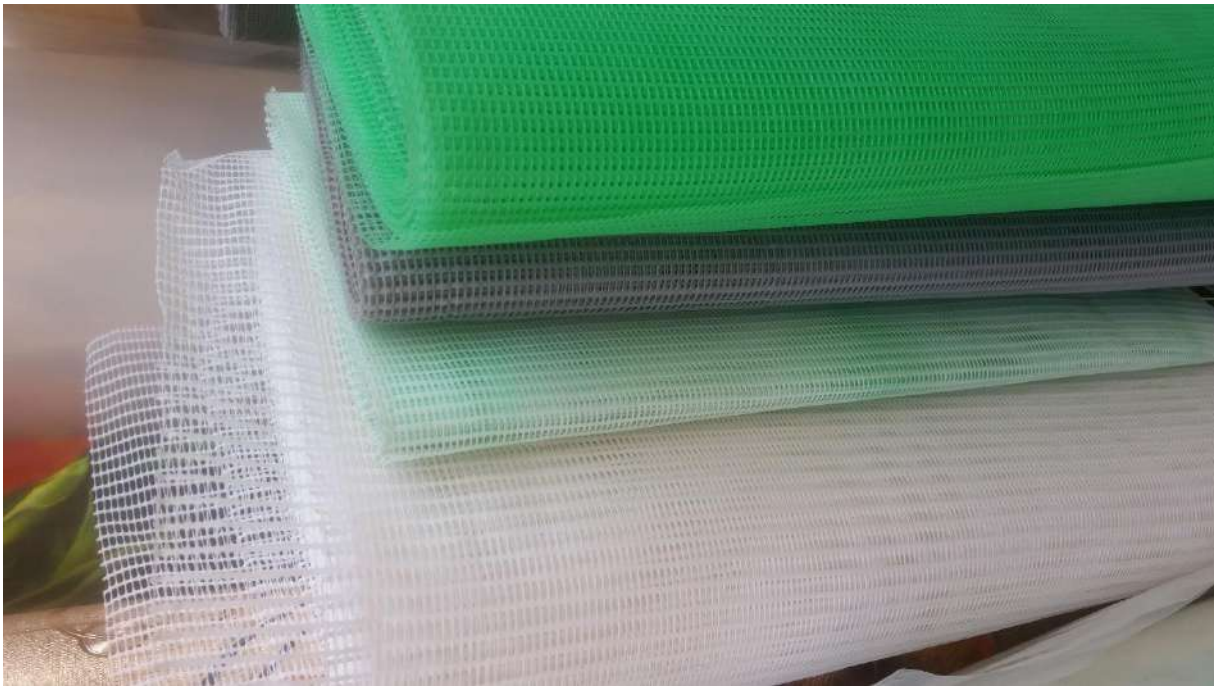


Figure III.13 : Renforcement des murs par un grillage en polymère (plastique).

III.7 Conclusion :

L'analyse bibliographique nous a permis de constater que, malgré la grande quantité de travaux effectués, qu'il reste beaucoup d'inconnues relatives au comportement de la maçonnerie structurale et le renforcement des murs. Il reste, en particulier, à préciser l'influence de certaines variables telles que :

• Variation de la nature du mortier (mortier en ciment, mortier de chaux, mortier bâtard etc.) ;

• Variation de l'épaisseur du joint de mortier et de grillage ;

• La disposition des joints verticaux par rapport aux sollicitations verticales ;

• La géométrie de la maçonnerie.

• Variation de type de matériau de grillage (acier, plastique).

C'est dans ce contexte que nous proposons de réaliser une étude expérimentale permettant la mise en exergue de variables ayant une incidence directe sur le comportement de la maçonnerie.

Le plan du travail envisagé est le suivant :

Une étude expérimentale sur des triplets (3 briques assembler) en utilisant des matériaux locaux (briques perforé). Ces panneaux sont soumis à un chargement (compression diagonal) et varient les paramètres suivants varié :

a) la nature du grillage (plastique, acier),

b) l'épaisseur de grillage,

c) la dimension des trous de grillage

La partie expérimentale est une continuité de la partie bibliographique pour équilibrer le plan de travail et définir les différentes techniques expérimentales.

Ce chapitre présent les caractéristiques des matériaux utilisées pour l'élaboration des triplets, chaque triplet est composé de trois briques assemblées par mortier, ils sont étudiés avec renforcement et sans renforcement.

Dans ce chapitre nous avons faire une étude expérimentale sur des triplets réalisés en brique perforé de dimension (220x105x50) mm 3 et renforcer par des différents types de grillage (plastique, acier) et chaque type de grillage possède une épaisseur et dimension des trous varier dans le but de choisir le meilleur renforcement.

Nous avons utilisé un seul type de mortier de jointement (mortier à base de ciment), l'épaisseur du joint de mortier utilisé est de 2 mm

Ce chapitre est divisé en quatre partir principales :

A) Caractérisation matériaux utilise
B) Confection mortier et construction des triplets
C) Matériaux composite et renforcement des triplets
D) Essai de cisaillement

IV.1 Caractérisation des matériaux utilise :

La caractérisation des matériaux permet de définir les paramètres mécaniques de la maçonnerie et du renfort. Par exemple, la résistance en compression et de traction de la maçonnerie, le module élastique, la cohésion, le coefficient de frottement, la résistance à la traction du renfort. Dans notre étude on a utilisé des matériaux locaux fréquemment utilisés dans les chantiers algériens [brique perforée, fibre de verre, grillage, ciment, l'eau, sable].

A.1) Brique perforée :

La Brique perforée utilisée a été confectionnée dans la briqueterie de Sétif. La brique et de forme parallélépipédique rectangle constitué de terre argileuse crue, (L'argile est souvent dégraissée par du sable). Les dimensions (Longueur x Largeur x Hauteur) sont données comme suit : 200 x 100 x 50 mm (Figure IV.1)

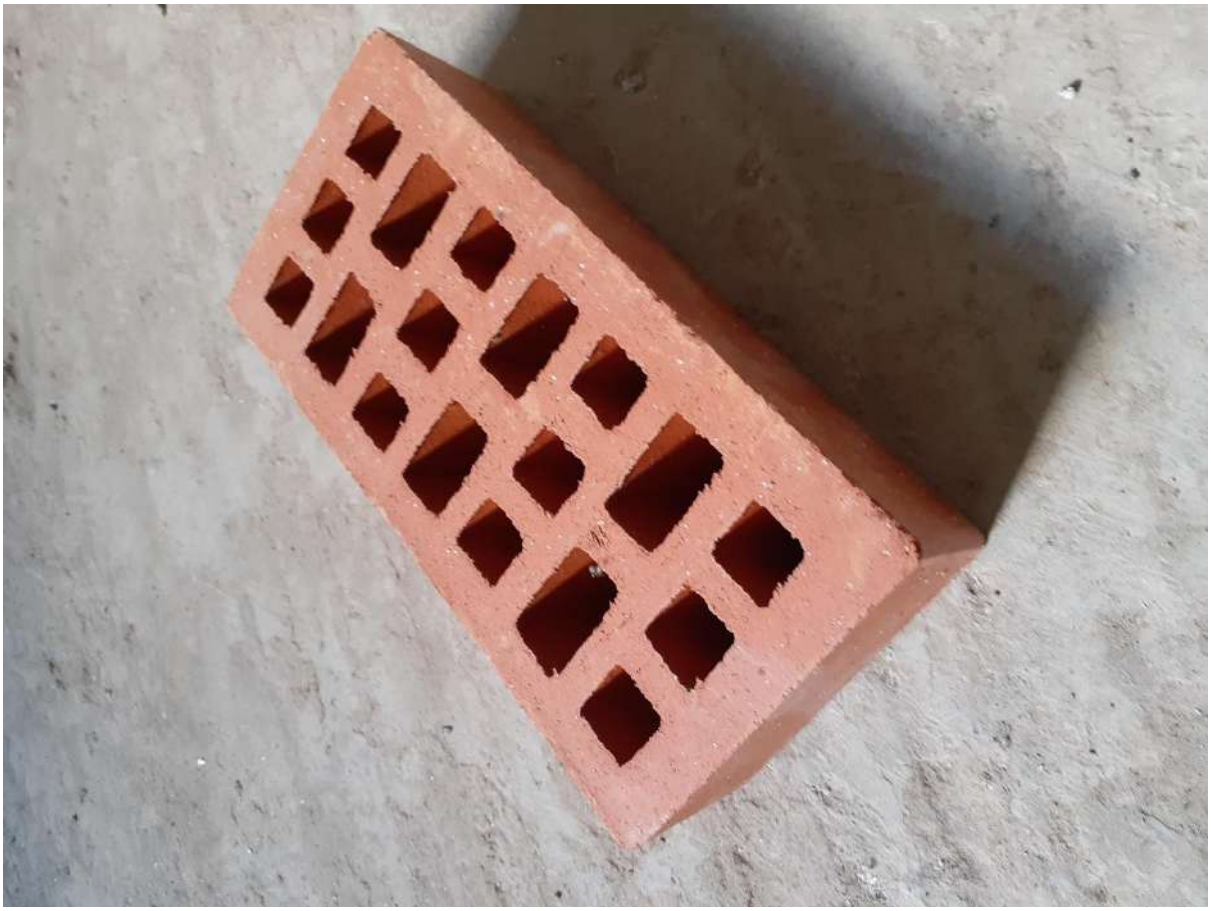


Figure IV.1 : Dimensions des briques perforées.

A.2) sable utilises :

Nous avons utilisé deux types de sable :

A- Sable jaune **OUED SUF**

B- Sable concasse 0/3 **MOKOURNO**

Pour déterminer les caractéristiques des sables on a fait les essais suivants :

Tableau Ⅳ1 : les essais sur sable

EQUIVALENT DE SABLE	Selon la norme NFP 18-598
GRANULOMETRIE	Selon la norme NF P18-560
MASSE VOLUMIQUE	Selon la norme NF P18-554 ; 18-555
MODULE DE FINESSE	Selon la norme NF P 18-101

❖ **Equivalent de sable :**

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en génie civil, caractérisant la propreté d'un sable. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur. On parle « d'essai d'équivalent de sable piston » ou, plus simplement, « d'essai d'équivalent de sable »

A). But de l'essai :

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

B). Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h1 : sable propre +éléments fins,

- Hauteur h'2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est : $ES = \frac{h_2}{h_1} 100$ (Equation Ⅳ.1)

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

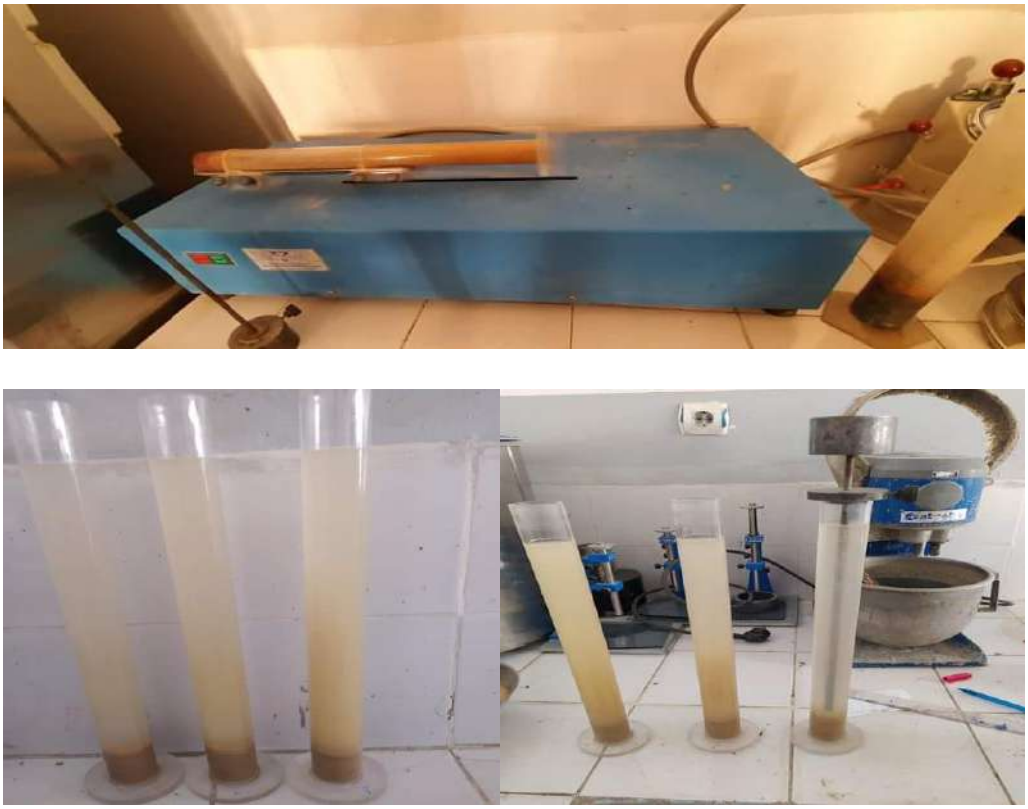


Figure IV.2 : équivalent de sable.

Tableau IV.2 : Les valeurs d'équivalent de sable.

	Equivalent de sable		Limite de valeur	Observation
sable	E.S.P %	78.77	E.S.P 70%≤ES<80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses
	E.S.V %	82.49	E.S.V 75%≤ES<85%	

❖ **Granulométrie :**

La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une collection d'éléments finis de matière naturelle ou fractionnée. L'analyse granulométrique est l'ensemble des opérations permettant de déterminer la distribution des tailles des éléments composant la collection. La distribution granulométrique est la représentation sous forme de tables, de nombres ou de graphiques, des résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique. On associe

parfois à l'analyse granulométrique l'analyse de la distribution statistique de la forme des grains, il s'agit de la granulomorphie.

❖ **Masse volumique :**

La masse volumique, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.



Figure IV.3: essai Masse volumique apparent.

$$\rho_A = 1.48\ g/cm^3$$



Figure IV.4 : essai Masse volumique absolue.

$$\rho_s = \frac{m_2}{m_1+m_2-m_3}\ \rho_s \qquad \text{(Equation Ⅳ.2)}$$

$$\rho_s = \frac{50}{1571.7+50-1600.2}$$

ρ_s=2.32 g/cm^3

❖ **Module de finesse :**

Le module de finesse (Mf) d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés (exprimée en pourcentage) des fractions granulaires obtenues sur les tamis de modules :

23 - 26 - 29 - 32 - 35 - 38 - 41 - 44 - 47 - 50 (respectivement des tamis de la série 0,16 mm - 0,315 mm - 0,63 mm - 1,25 mm - 2,5 mm - 5 mm - 10 mm - 20 mm - 40 mm et 80 mm).

Les résultats des essais au niveau du laboratoire réalisé sur les deux sables sont présentés



Figure Ⅳ.5 : Séries de tamis (essai analyse granulométrique).

Tableau Ⅳ.3 : analyse granulométrique de sable.

Tamis	RC (g)	RC (٪)	RP (g)	tamisant
5	5.1	0.51	5.1	99.49
2.5	23.4	2.34	18.3	97.66
1.25	85.9	8.59	62.5	91.41
0.63	419.9	41.99	334	58.01
0.315	859.3	85.93	439.4	14.07
0.16	966.7	96.67	107.4	3.33
0.08	992.4	99.24	25.7	0.76

MF = 3.63 SABLE GROS

A.3) le ciment :

Le ciment utilisé est de type MATINE CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442 est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (linéarisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al2O3) et le fer (Fe2O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c, En présence d'eau au lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro- cristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301194.



Figure Ⅳ.6 : ciment de matine.

A.4) Eau :

L'eau utilisée dans la composition du mortier est celle du robinet de la commune de « TAMEZGUIDA ».

IV.2 Confection mortier et construction des triplets :

IV.2.1 Mortier :

Le mortier est le mélange à (ciment + sable + l'eau), d'un liant et de sable avec de l'eau.

Nous avons utilisé un mortier en ciment (1/4)

* (1/4) c'est le plus utilisé actuellement.

* : (1/4) : 1 volume de ciment dans 4 volumes de sable

- **Equipement nécessaires pour l'essai :**

 Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés éprouvettes ≪ 4×4×16 ≫ voir figure (IV.7)

 Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN

 Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm± 0,3mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s

 Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s ± 10N/s.

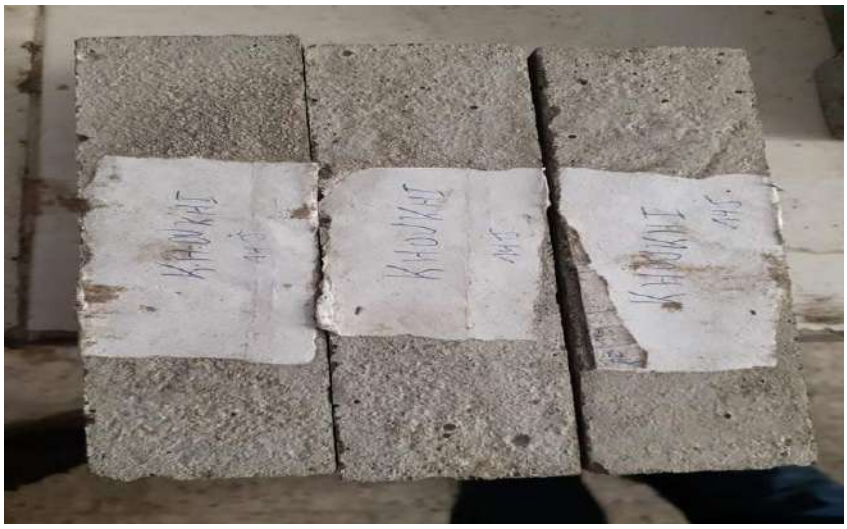


Figure Ⅳ.7 : éprouvettes 4x4x16 cm de mortier.

✓ **Les essais effectués sur le mortier à l'état durci :**

A - Essai de traction par flexion :

Selon la norme [EN 196-1] c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure Ⅳ.8), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 7, 14, 28 jours.

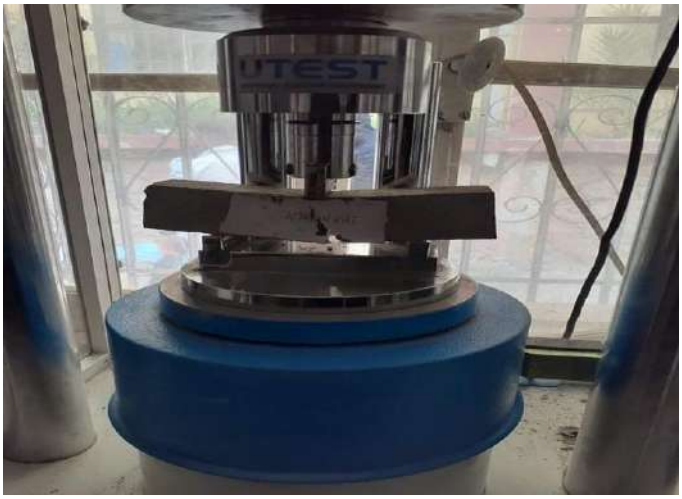


Figure Ⅳ.8 : l'essai de résistance à la flexion.

B- Essai de compression :

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] par compression axiale pour demi prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3,7, 28jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (Figure Ⅳ.9). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai.



Figure Ⅳ.9 : l'essai de résistance à la compression.

- Les résultats des essais de compression sont présentés dans le tableau IV.4 suivant :

éprouvette	Résistance à la flexion (MPa)			Résistance à la compression (MPa)		
Mortier 1⁄4	7 jour	14 jour	28 jour	7 jour	14 jour	28 jour
	2.19	3.22	/	12.34	11.47	/

IV.2.2 Construction des triplets :



Figure IV. 10 : Préparation de triplet.

IV.3 Matériaux composite et renforcement des triplets :

IV.3.1 matériaux composite :

Notre étude concerne la réalisation de seize (16) triplet en maçonnerie construits en briques perforés, ces briques sont jointées par un mortier d'une épaisseur de 5mm, les triplets fabriques sont soumis à un chargement de cisaillement avec quatre niveaux de contrainte de confinement0-0.4-0.8-1 MPa, respectivement sur des triplets non renforcés et des triplets renforcés par (Fibres de verre, grillage)

Tableau Ⅳ.5 : les caractéristiques de tous les triplets.

Caractéristique	Photo	Nombre des triplets
Non renforcé.		TT
renforcement vertical aux joints par des bandes de 50 mm de largeur espacées entre elles de 50 mm, une face.		1

renforcement vertical aux joints par des bandes de 50 mm de largeur espacées entre elles de 50 mm, deux face.		1’
renforcement incliné 30° se forme V, une face.		2
renforcement incliné 30° se forme V, deux face.		2’

Renforcement les bandes de tissu de verre sont placées parallèle aux joints, de 3 mm de largeur espacées entre elles de 3 mm, une face.		3
Renforcement les bandes de tissu de verre sont placées parallèle aux joints, de 3 mm de largeur espacées entre elles de 3 mm, deux face.		3’
renforcement incliné de 45° par des bandes de 50 mm de largeur, une face.		4

renforcement incliné de 45° par des bandes de 50 mm de largeur, deux face.		4’
renforcement incliné de 45° dans les deux directions se forme X par des bandes de 50 mm de largeur, une face.		5
renforcement incliné de 45° dans les deux directions ce forme X par des bandes de 50 mm de largeur, deux face.		5’

Renforcé grillage acier de maille (2*2) mm^2		GA1
Renforcé par Grillage acier de maille (14*14) mm^2		GA2
Renforcé grillage acier de maille (6*6) mm^2		GA3

Renforcé Grillage en plastique de maille (2*3)mm^2		GP1
Renforcé grillage en plastique de maille (1*1) mm^2		GP2

IV.3.2 matériaux de renforcement :

IV.3.2.1 triplet renforcé par la fibre de verre (FRP) :

Dans cette étude on a utilisé pour le renforcement des triplets un tissu de fibres de verre, bidirectionnel (Orientation de la fibre 0°), composé de fibre de verre blanche et Les caractéristiques techniques sont résumés dans le tableau suivant

Tableau Ⅳ.6 : caractéristique de fibre de verre

LARGEUR DU TISSU	100 mm
LONGUEUR DU TISSUE/ ROULEAU	500mm
ÉPAISSEUR DU TISSU	≤1mm
RESISTANCE A LA TRACTION VALEUR MINIMALE	1400MPA
ALLONGEMENT A LA RUPTURE	1.70 ٪

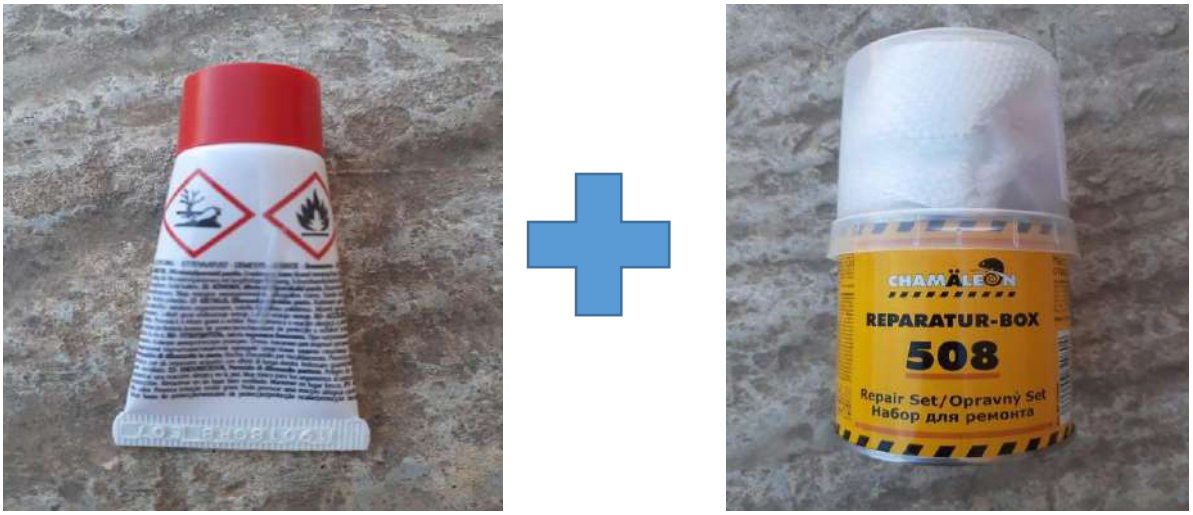


Figure IV .11 : Matériel utilisé

IV.3.2.1.1 résine d'imprégnation :

Est une résine époxyde de collage/d'imprégnation utilisée pour les tissus de renforcement de structures cette résine est constitué à deux composants, 100% de matières solides, résistant à : - l'humidité,

- à haut module d'élasticité,
- et haute résistance.



Durcisseur résine

Figure IV. 12 : composants A et B de la résine époxy.

IV.3.2.1.2 mode d'application de la fibre de verre :

A) préparation de la surface :

Pour obtenir de meilleurs résultats, le support doit être sec, Débarrassé le support de toutes traces de poussière, corps étrangers, revêtements et matériaux désagrégés ou autres matériaux susceptibles d'empêcher l'adhérence.

B) couper le tissu en fibre de verre :

Le tissu se coupe manuellement en utilisant un ciseau pour couper les tapisseries. Les coupes sont faites conformément à la géométrie de renforcement adopté et les caractéristiques d'orientation des fibres.

C) le mélange des composantes de la résine

- Premièrement mélanger chacun des composants.

- Puis mélanger tout l'ensemble.

- Verser le composant B dans le contenant du composant A.

- Mélanger entièrement pendant 5 minutes au moyen jusqu'à ce que le tout soit homogène.

Tableau Ⅳ.7 : caractéristique de la résine

Coloris	Composant A (résine)	transparent
	Composant B(Durcisseur)	rose
	Composant A+B	Marron
Conservation		2 ans dans son emballage

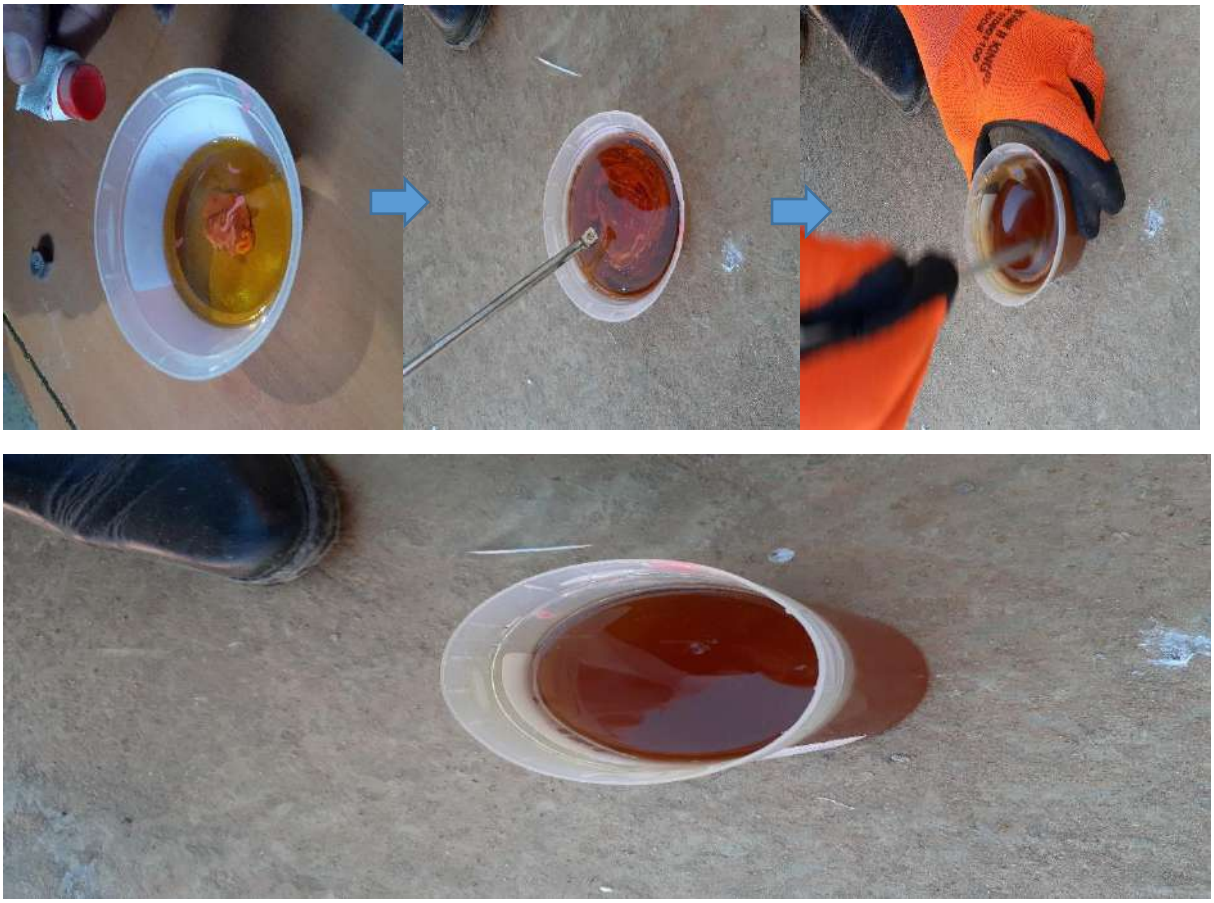


Figure IV. 13 : les étapes le mélange des composantes de la résine.

C) imprégnation et application des tissus :



Figure IV.14 : Mise en place et l'intégration de tissu de fibres de verre et de résine.

IV.3.2.1.3 diffèrent dispositifs de fibre adopte :

• Triplet 01 : Ce triplet de référence représenté le triplet non renforcé et s'appelle **TT.**	
• Triplet 02 : Dans ce mode de renforcement les bandes de tissu de verre sont placées parallèle aux joints, de 3 mm de largeur espacées entre elles de 3 mm.	
• Triplet 03 : Dans ce dispositif on a met le renforcement vertical aux joints par des bandes de 50 mm de largeur espacées entre elles de 50 mm.	
• Triplet 04 : Dans ce dispositif on a met le renforcement incliné de 45° par des bandes de 50 mm de largeur.	
• Triplet 05 : Dans ce dispositif on a met le renforcement incliné de 45° dans les deux directions se forme X par des bandes de 50 mm de largeur.	
• Triplet 06 : Dans ce dispositif on a met le renforcement incliné 30° se forme V	

IV.3.2.2 triplet renforcé par l'enduit en ciment et grillage :

Nous avons utilisé mortier 1⁄4 et plusieurs types des grillages.



Figure IV. 15 : triplet renforcé par l'enduit en ciment et grillage.

IV.3.2.2.1 la différente étape de construction et de renforcement des triplets par grillage :

Nous avons appliqué une couche de 3 à 4 mm d'enduit, après quelques minutes de séchage de l'enduit on a appliqué la deuxième couche, un grillage a été appliqué sur la face du triplet comme renforcement, sauf que ce dernier a été appliqué avant la réalisation de la deuxième couche d'enduit et cela pour le premier triplet, alors que pour le deuxième triplet le grillage a été appliqué après la deuxième couche d'enduit et ensuite les autres. (Figure IV.16).

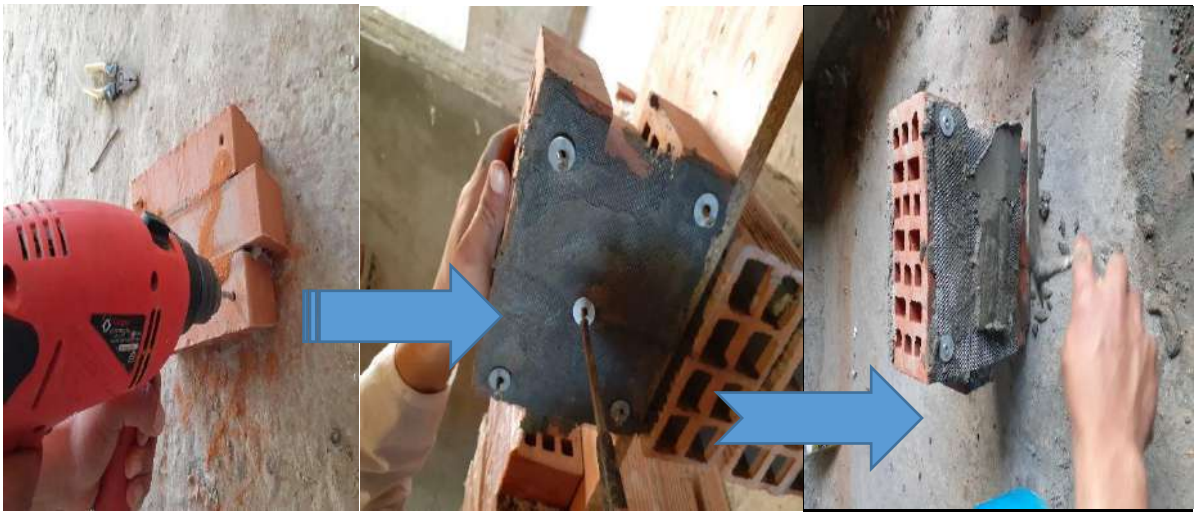


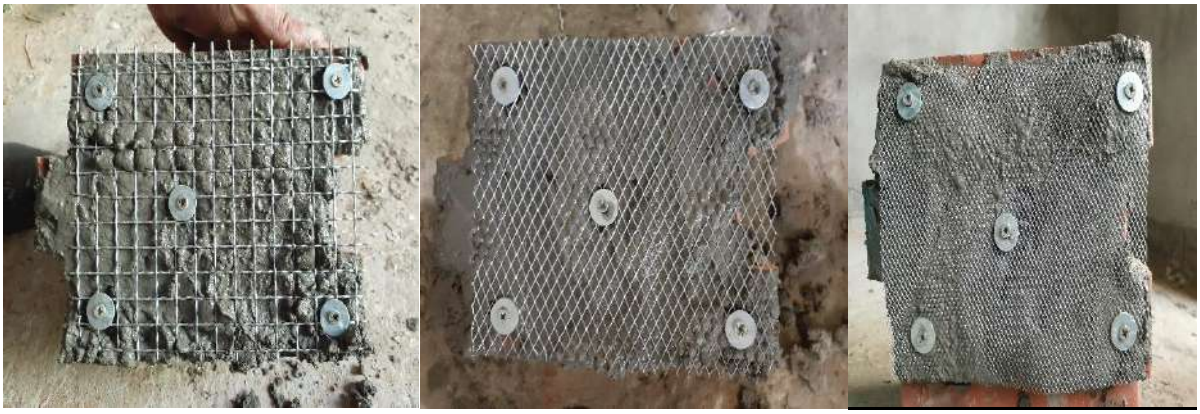


Figure IV.16 : les étapes de réalisation du renforcement du triplet par grillage.

IV.3.2.2.2 Les type de matériaux utilisés pour le renforcement des triplets :



Grillage en plastique de maille (2*3)mm^2 grillage en plastique de maille (1*1) mm^2



Grillage acier de maille (14*14) mm^2 grillage acier de maille (6*6) mm^2 grillage acier de maille (2*2) mm^2

Figure IV.17 : renforcement des triplets par différent type de grillage.

IV.4 Essai de cisaillement :

L'essai le plus simple à exécuter et à contrôler en laboratoire pour caractériser le comportement de la maçonnerie sous charge de cisaillement est celui montré sur la figure VI.18.

La résistance au cisaillement d'un mortier est étudiée sur des triplets qui s'appuient sur les deux briques d'extrémités. Il est obtenu par l'application d'une charge sur la face supérieure de la brique intermédiaire. Cette mise en chargé est précédée préalablement à une pré-compression latérale sur ce triplet.



Figure VI.18 : Essai de cisaillement sur triplet.

Dans cet essai, on possède deux surfaces cisaillées **(NF EN 1052-3)**

$$\tau = \frac{F}{2 \, . \, S}$$ (Equation Ⅳ.3)

Aussi, cet essai permet d'établir la relation linéaire de Mohr-Coulomb en fonction de l'adhérence entre le mortier et la brique par la relation suivante :

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\varphi$$ (EquationⅣ.4)

c : Cohésion du mortier

$tg\varphi$: Angle de frottement du mortier

IV.5 Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques utilisées pour la réalisation de notre programme expérimental au laboratoire.

Les différents modes de rupture trouvés confirment l'hétérogénéité de la maçonnerie. Nous pouvons distinguer deux types de fissures qui se développent :

– soit au niveau de l'interface brique-mortier

– soit au niveau de l'interface brique-mortier et au niveau du joint de mortier

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus selon le programme préconisé, ensuite nous allons interpréter et comparer nos résultats avec les résultats de la littérature.

La campagne expérimentale qui a été réalisée et décrite dans le chapitre précédent est sorti avec de nombreux résultats expérimentaux. L'interprétation correcte des résultats contribuera à obtenir et évaluer les paramètres mécaniques des matériaux.

Dans ce chapitre, les différentes typologies de tests sont analysées afin d'évaluer le bon renforcement du comportement en cisaillement d'un triplé en maçonnerie. Les résultats de tous les tests sont présentés dans ce chapitre et sont discutées, et critique par rapport à l'autre. Nous allons dans une première partie définir les différents résultats des essais effectués sur les matériaux de construction et le matériau de renforcement utilisé. Puis nous présentons dans la deuxième partie, les résultats de comportement en cisaillement des triplets témoin et renforcés.

PARTIE 01 : Résultats expérimentale sur les matériaux :

V.1.1 Les briques

a) Caractéristiques géométriques

Les panneaux sont confectionnés à partir des briques perforés, dont les caractéristiques géométriques sont :

- Briques en terre cuite creuses : 70 x 105 x 55 mm3

b) Caractéristiques physiques :

Le tableau V.1 montre que la masse volumique des briques et de l'ordre de 1800 Kg/m3

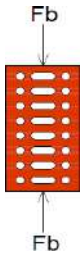
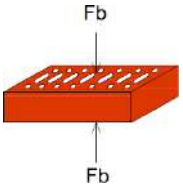
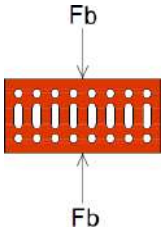
Tableau V.1 caractéristiques physiques des briques

N°	$M(g)$	$V\ (cm3)$	$\rho\ (g/cm3)$	$\rho\ moy\ (Kg/m3)$
01	1589,2	877	1,81	1800
02	1592,4	880	1,81	
03	1588,7	895	1,78	

c) Caractéristiques mécaniques:

La résistance à la compression en fonction de la disposition des briques est donnée dans le (V.2) et la figure V.1.

Tableau V.2 : résultats d'essai de compression sur briques

Direction 1	Direction 2	Direction 3
		
9,35(MPa)	23,50(MPa)	3,21(MPa)

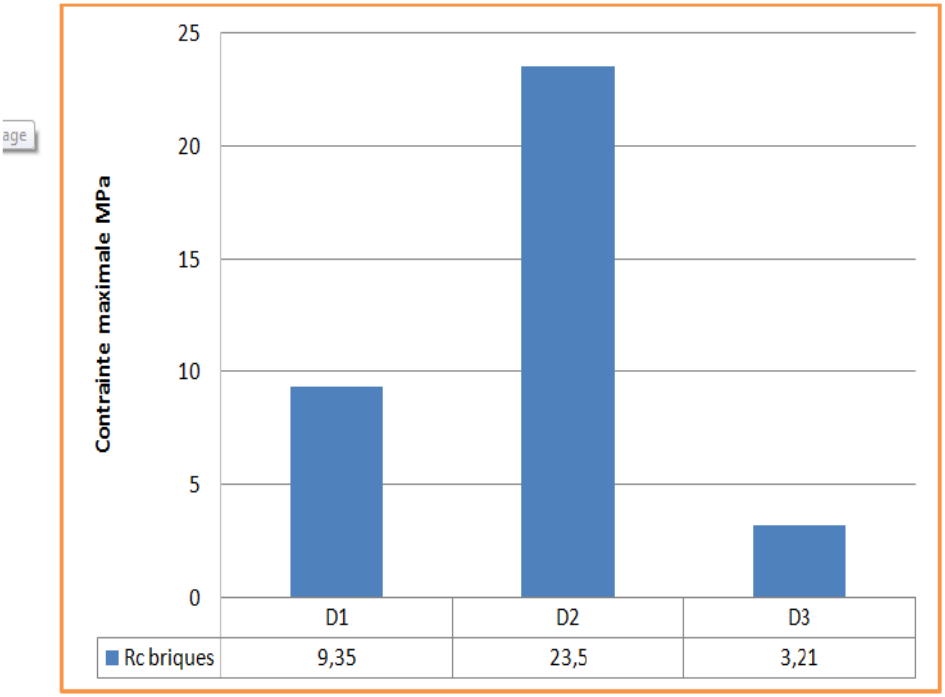


Figure V.1 : résultats d'essai de compression sur briques.

PARTIE 02 : Résultats expérimentale sur les triplets :

V.2.1 Résultat expérimentaux sur triplets :

Seize triplets sont construits et testés en compression. Les triplets sont composés de trois briques perforé. Les résultats de compression sont présentés dans ce qui suit.

V.2.1.1 Comportement de triplet témoin TT :

Le triplet 1 reprend une force maximale de 24 KN soit une valeur de 0.571 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 1.2mm et le déplacement ultime vont 1.3mm (Figure V.2)



Figure V. 2 : Diagramme de cisaillement--déplacement TT.

V.2.1.2. Comportement des triplets renforcés par fibre de verre :

Les triplets renforcés par les composites FV reflètent une augmentation différente de la valeur de la résistance à la compression selon l'orientation des fibres et le pourcentage de renforcement.

Triplet 1 renforcé verticalement une face :

Le triplet 1 reprend une force maximale de 48 KN soit une valeur de 1.143 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 4mm et le déplacement ultime vont 4.8mm (Figure V.3)

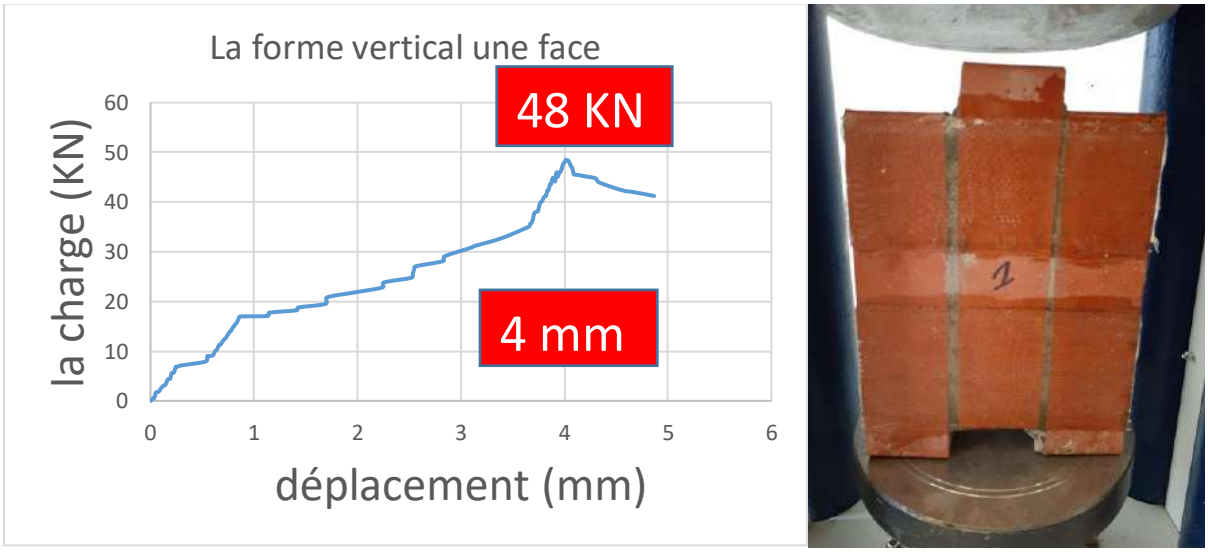


Figure V.3 : Diagramme de cisaillement-déplacement T1.

Triplet 2 renforcé en forme v une face :

Le triplet 2 reprend une force maximale de 49 KN soit une valeur de 1.166 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 7mm et le déplacement ultime vont 9mm (Figure V.4)

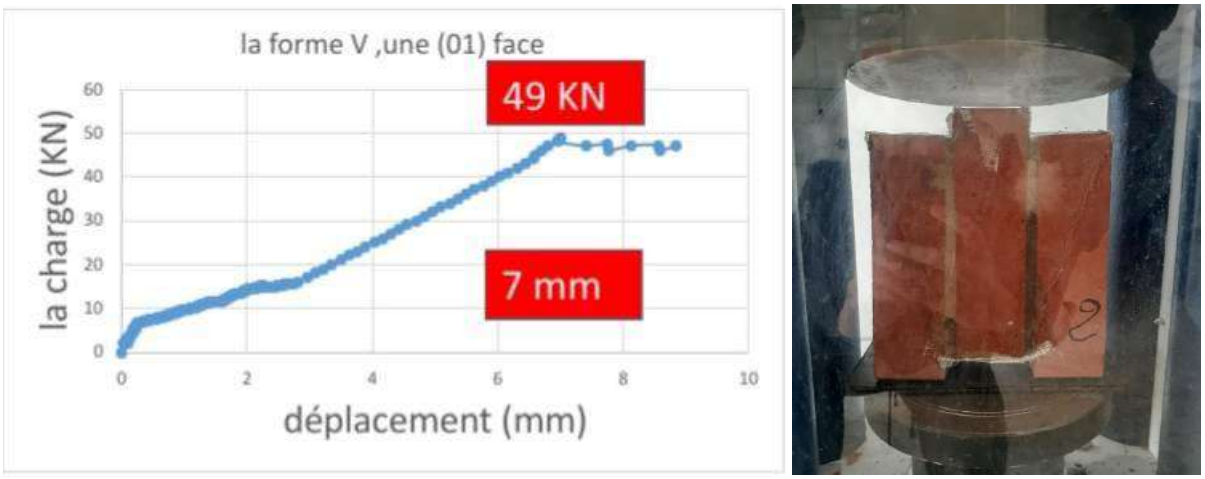


Figure V.4 : Diagramme de cisaillement-déplacement T2

Triplet 3 renforcé horizontalement une face :

Le triplet 3 reprend une force maximale de 43 KN soit une valeur de 1.023 MPa pour une résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 3mm et le déplacement ultime vont 3.2mm (Figure V.5)

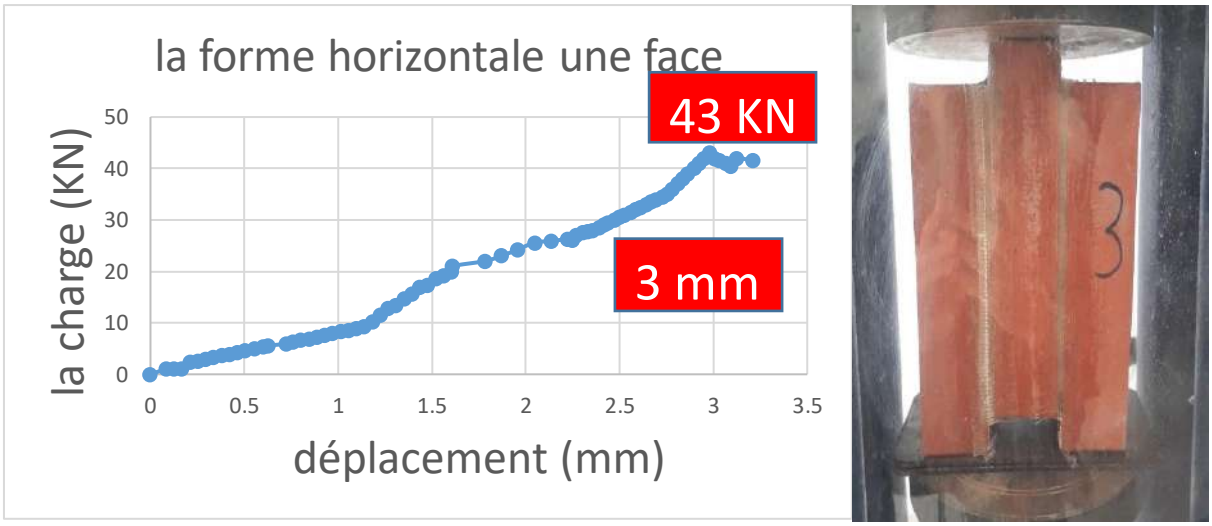


Figure V.5 : Diagramme de cisaillement-déplacement T3.

Triplet 4 renforcé en forme incliné une face :

Le renforcement avec un bande incliné a conduit à une augmentation de la résistance au cisaillement jusqu'à 1.062 MPa correspondant à une charge maximale de 44.6 KN. Le déplacement élastique enregistré est égale à 2.5mm et le déplacement ultime vont 2.8mm (Figure V.6)



Figure V.6 **:** diagramme de cisaillement-déplacement T4.

Triplet 5 renforcé en forme x une face :

Le triplet 5 reprend une force maximale de 67 KN soit une valeur de 1.595 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 9mm et le déplacement ultime vont 11.8mm (Figure V.7*)*



Figure V.7 : Diagramme de cisaillement-déplacement T5

Triplet 1' renforcé verticalement deux faces :

Le triplet 1' est renforcé par deux bandes de fibre de verre de 50 mm de largeur, ce dispositif nous donne une force maximale de 50 KN soit une valeur de 1.190 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 6mm et le déplacement ultime vont 7.1mm (Figure V.8)

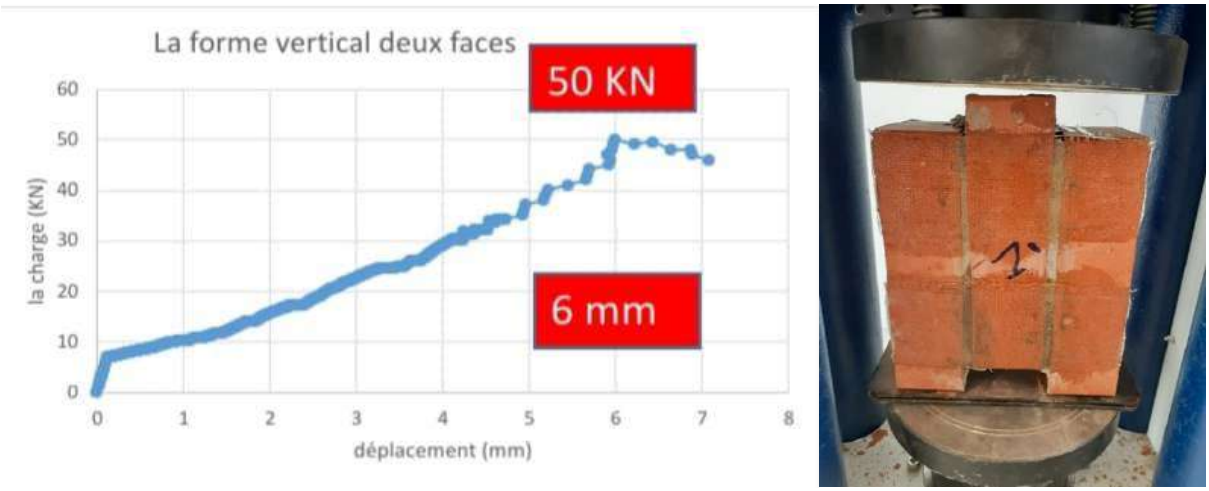


Figure V.8 Diagramme de cisaillement-déplacement T1

Triplet 2' renforcés en forme v deux faces :

Le triplet 2' reprend une force maximale de 54 KN soit une valeur de 1.285 MPa pour la résistance au cisaillement Le déplacement élastique enregistré est égale à 9mm et le déplacement ultime vont 12mm (Figure V.9*)*

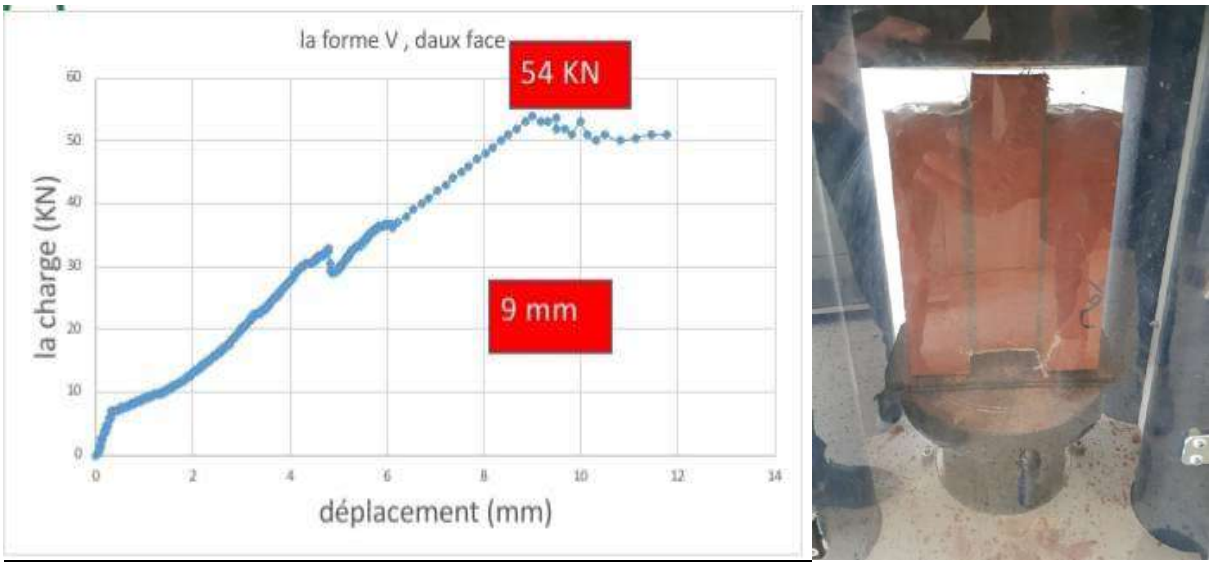


Figure V.9 **:** Diagramme de cisaillement-déplacement T2'

Triplet 3' renforcés horizontalement deux faces :

Le triplet 3' reprend une force maximale de 47 KN soit une valeur de 1.119 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 5mm et le déplacement ultime vont 5.8mm (Figure V.10)



Figure V.10 : Diagramme de cisaillement–déplacement T3'

Triplet 4' renforcés en forme incliné deux faces :

Le triplet 4' reprend une force maximale de 46 KN soit une valeur de 1.095 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 4mm et le déplacement ultime vont 4.8mm (Figure V.11)

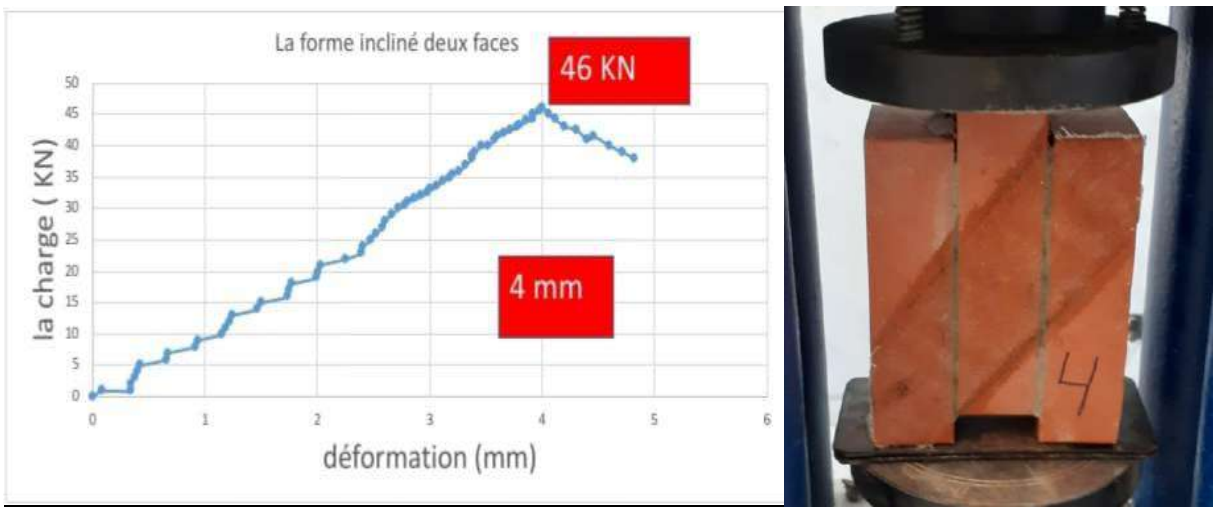


Figure V.11 **:** Diagramme de cisaillement-déplacement T4'

Triplet 5' renforcés en forme x deux faces :

Le triplet 5' reprend une force maximale de 71 KN soit une valeur de 1.690 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 10mm et le déplacement ultime vont 12.2mm (Figure V.12)

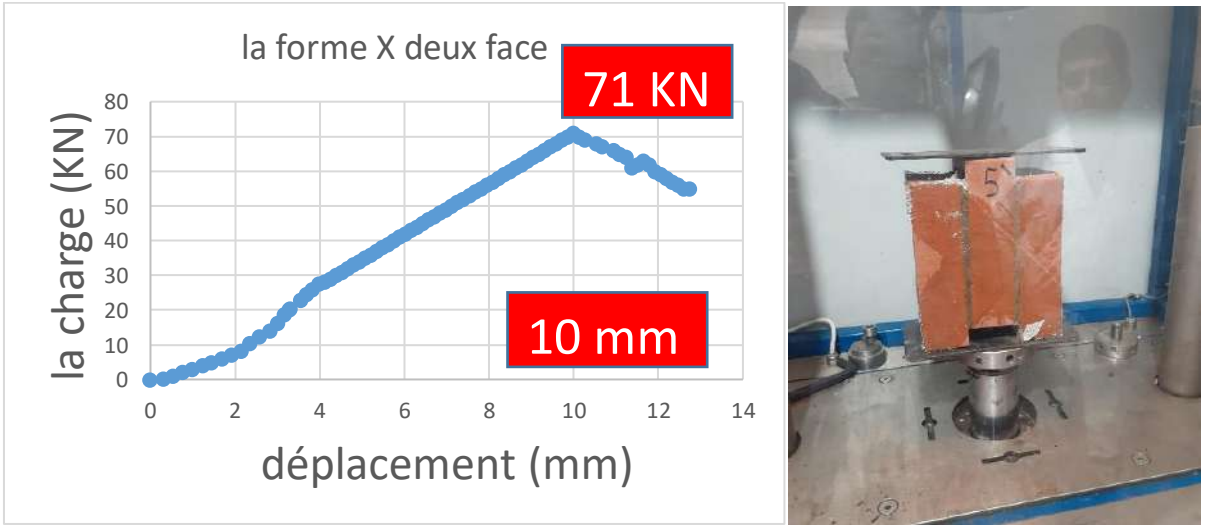


Figure V.12 **:** Diagramme de cisaillement-déplacement T5'

Triplet GA1 renforcés en grillage acier (2x2) mm² :

Le triplet GA1 reprend une force maximale de 45 KN soit une valeur de 1.071 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 4mm et le déplacement ultime vont 4.5mm (Figure V.13)

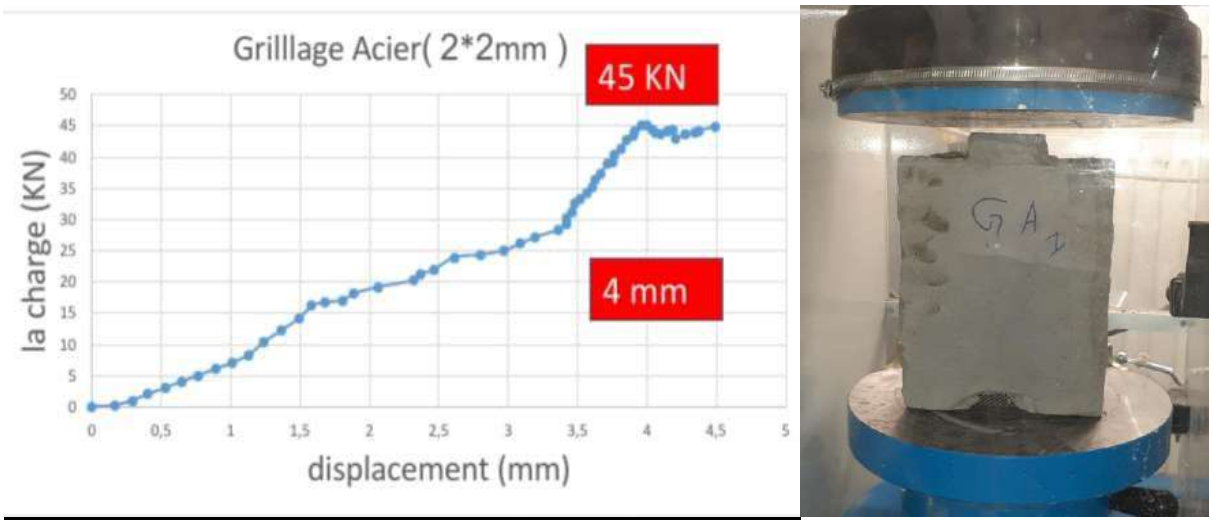


Figure V.13 : Diagramme de cisaillement-déplacement GA1

Triplet GA2 renforcés en grillage acier (14x14) mm² :

Le triplet GA2 reprend une force maximale de 35 KN soit une valeur de 0.833 MPa pour la résistance au cisaillement. . Le déplacement élastique enregistré est égale à 3.5mm et le déplacement ultime vont 4.3mm (Figure V.14)

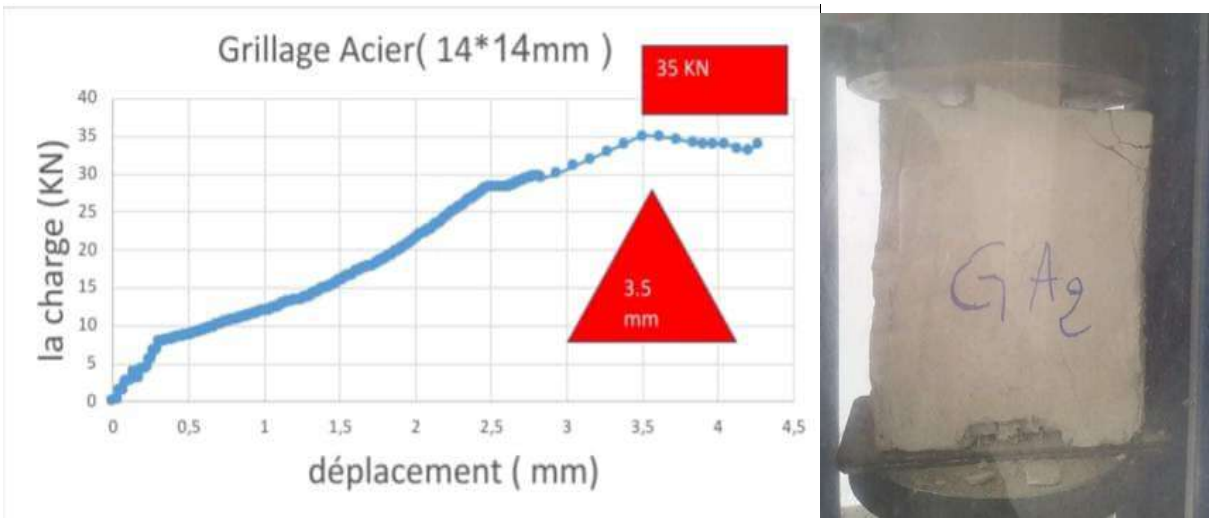


Figure V.14 : Diagramme de cisaillement-déplacement GA2

Triplet GA3 renforcés en grillage acier (6x6) mm² :

Le triplet GA3 reprend une force maximale de 59 KN soit une valeur de 1.404 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 6mm et le déplacement ultime vont 6.8mm (Figure V.15)

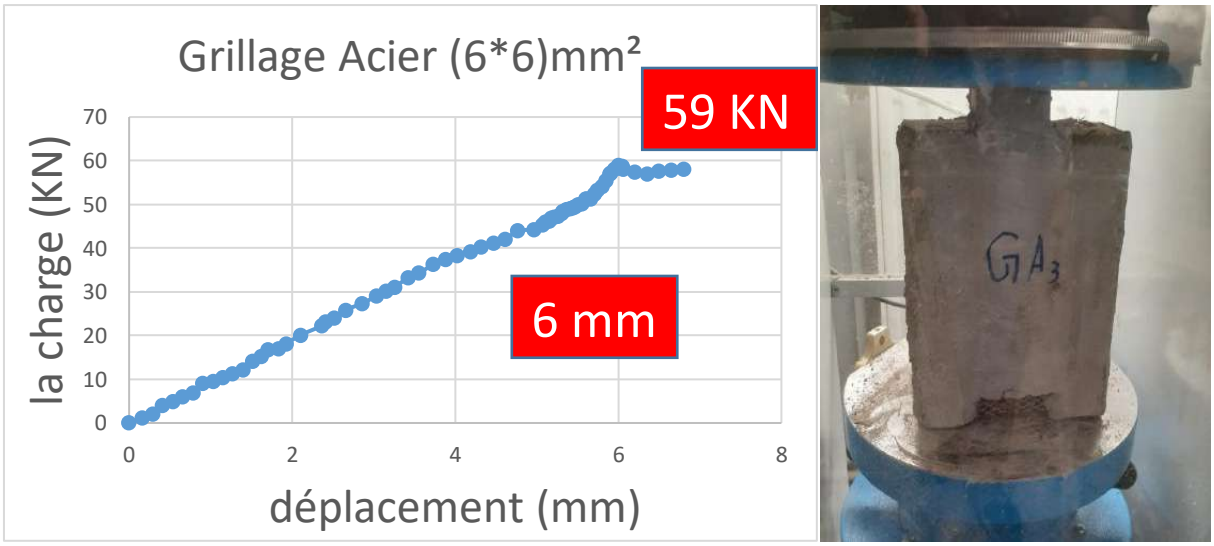


Figure V.15 : Diagramme de cisaillement-déplacement GA3

Triplet GP1 renforcés en grillage plastique (3x2) mm² :

Le triplet GP1 reprend une force maximale de 35 KN soit une valeur de 0.833 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 4mm et le déplacement ultime vont 4.5mm (Figure V.16)



Figure V.16 **:** Diagramme de cisaillement-déplacement GP1

Triplet GP2 renforcés en grillage plastique (1x1) mm² :

Le triplet GP2 reprend une force maximale de 37 KN soit une valeur de 0.880 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 3.5mm et le déplacement ultime vont 3.8mm (Figure V.17)

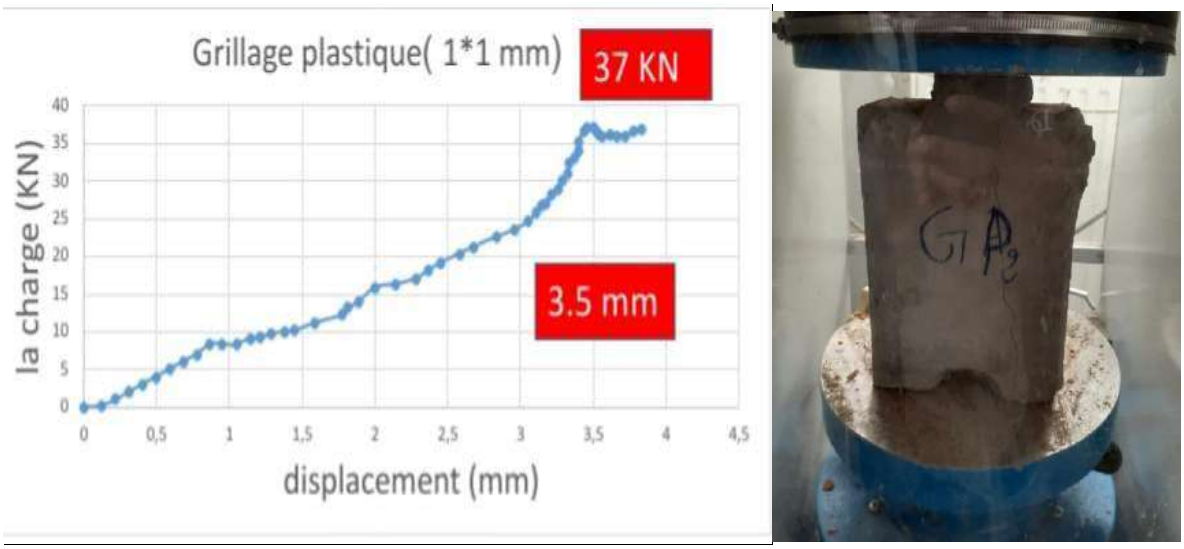
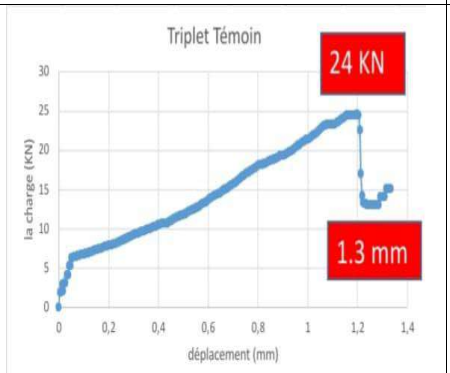
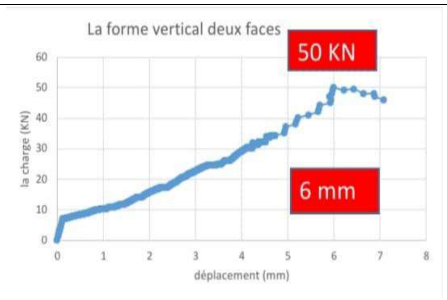
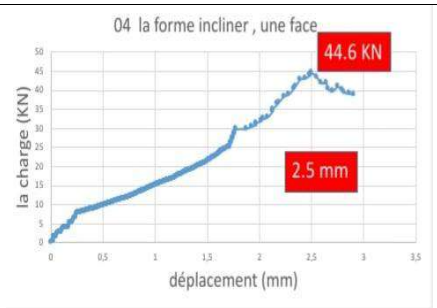
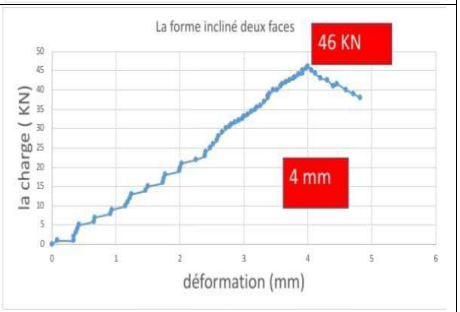
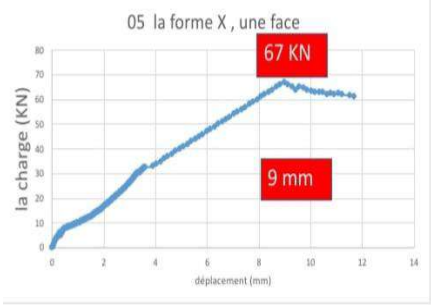
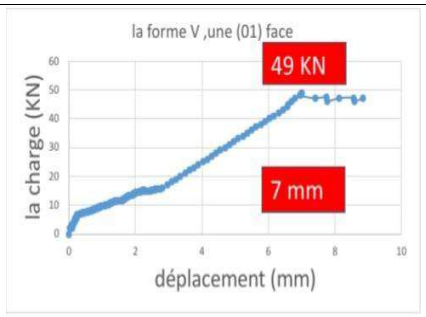
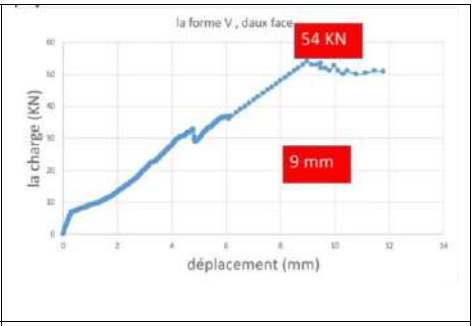
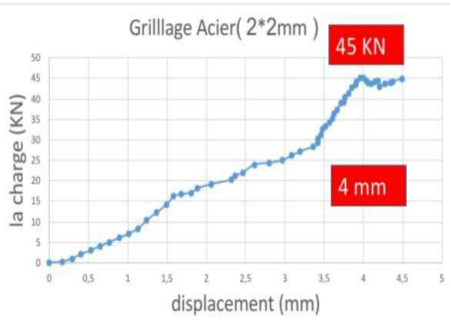
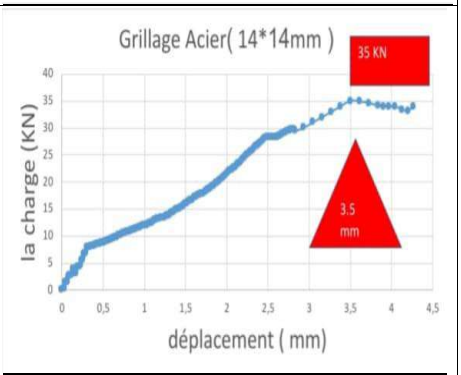
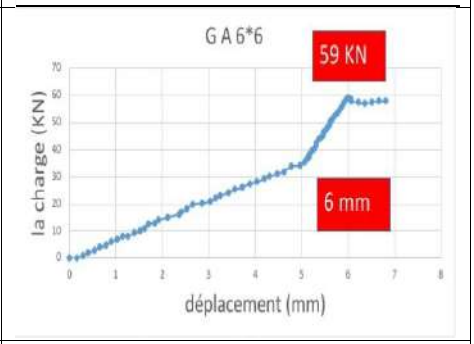


Figure V.17 **:** Diagramme de cisaillement-déplacement GP2

V.2.2. Influence de la disposition de fibre de verre sur le comportement des triplets :

Cette partie est étudiée pour analyser l'influence de la disposition des tissus de fibre de verre sur le comportement au cisaillement des triplets renforcés.

Type de renforcement		Une seule face	Deux faces
Témoin			
Fibre de verre	Verticale		
	horizontale		
	diagonale		
	En X		

	EN V		
Grillage acier	Maille 2x2		
	Maille 14x14		
	Maille 6x6		

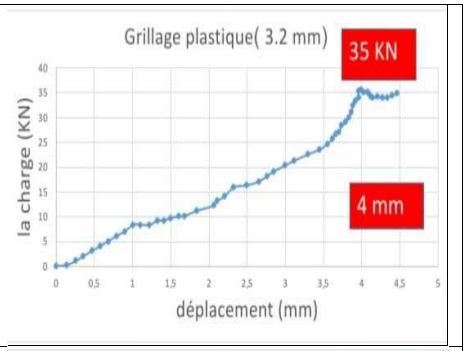
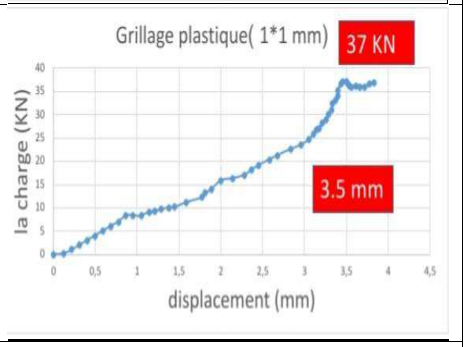
Grillage plastique	Maille 3x2		
	Maille 1x1		

Tableau V.3 : Tableau récapitulatif des résultats expérimentaux

N°	Nom	Les types de grillages et les dispositions des fibres	P max(KN)	A (mm2)	τdt (MPA)	déplacement ultime
1	TM		24	42000	0.571	1.3
2	T1	Vertical (1F)	48	42000	1.143	4.8
3	T2	Forme V (1F)	49	42000	1.166	9
4	T3	Horizontal (1F)	43	42000	1.023	3.2
5	T4	Incliné (1F)	44.6	42000	1.062	2.8
6	T5	Forme X (1F)	67	42000	1.595	11.8
7	T1’	Vertical (2F)	50	42000	1.190	7.1
8	T2’	Forme V (2F)	54	42000	1.285	12
9	T3’	Horizontal (2F)	47	42000	1.119	5.8
10	T4’	Incliné (2F)	46	42000	1.095	4.8
11	T5’	Forme X (2F)	71	42000	1.690	12.2
12	GA1	Acier (2*2) mm	45	42000	1.071	4.5
13	GA2	Acier (14*14) mm	35	42000	0.833	4.3
14	GA3	Acier (6*6) mm	59	42000	1.404	6.8
15	GP1	Plastique (3*2) mm	35	42000	0.833	4.5
16	GP2	Plastique (1*1) mm	37	42000	0.880	3.8

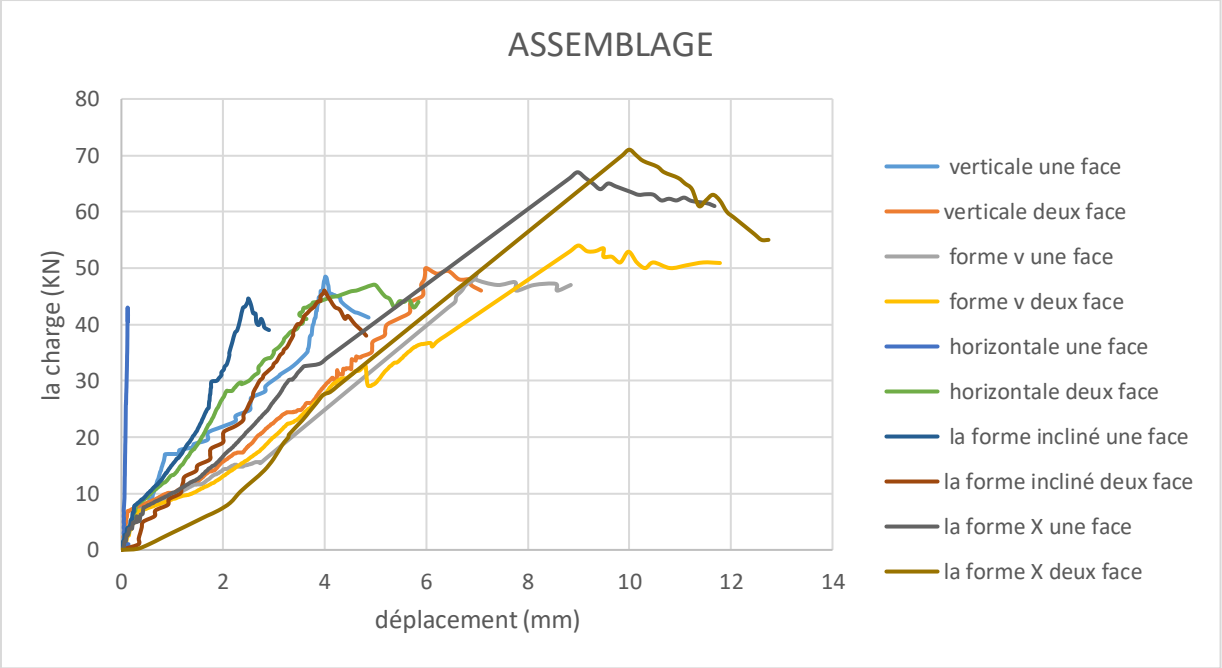


Figure V.18 : Diagrammes de cisaillement-déplacement des triplets renforcés par fibre de verre

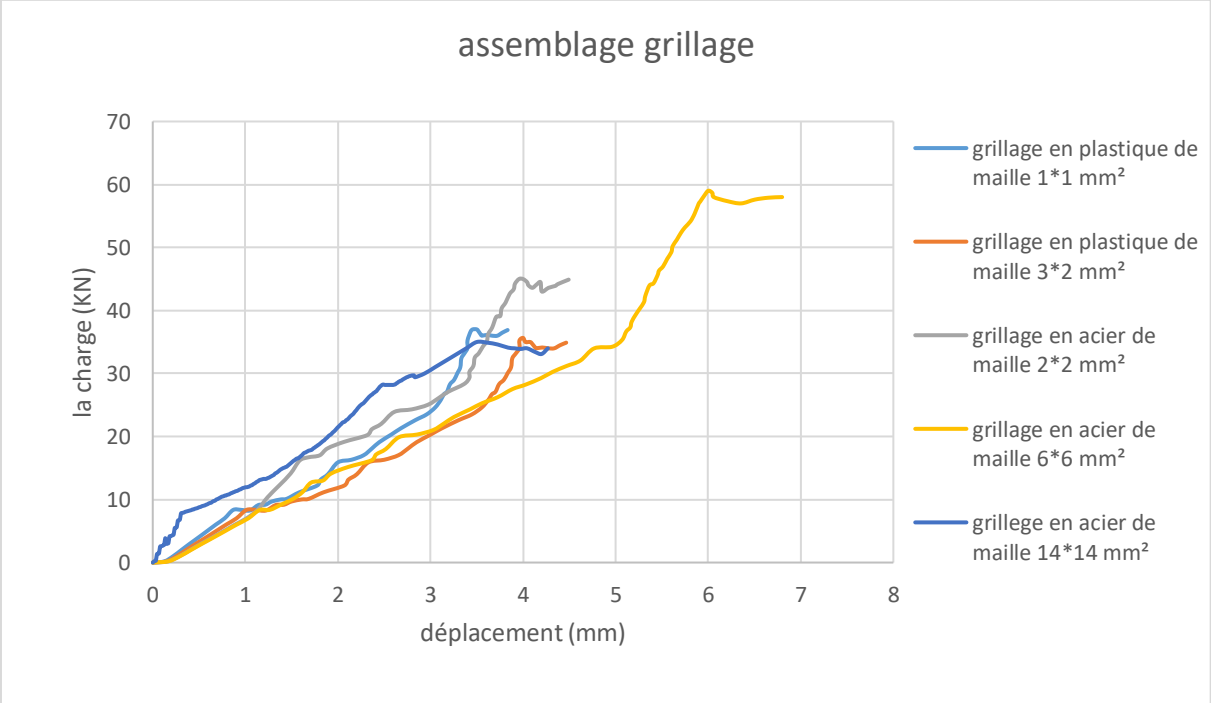


Figure V.19 : Diagrammes de cisaillement-déplacement des triplets renforcés par grillage

V.3 Conclusion :

- Le renforcement par fibres de verre et par grillage sert à augmenter la résistance au cisaillement par rapport au triplet témoin.
- Aussi On conclure, que la disposition longitudinale amélioré le comportement à la compression, avec un taux de renforcement le plus économique.
- Le déplacement ultime varié de 2.8 à 12.2 mm et le déplacement élastique de 2.5 à 10 mm
- Le renforcement diagonale amélioré le comportement au cisaillement des triplets, avec un taux de renforcement le plus économique.
- La disposition de forme X présente un meilleur comportement au cisaillement.
- Le renforcement de grillage acier (6x6) mm^2 présente un meilleur comportement au cisaillement que les autres grillages.
- Le grillage acier a un meilleur comportement au cisaillement que le grillage plastique.

Conclusion générale

Il existe un potentiel important pour l'application de fibre de verre et de grillage dans l'industrie de la maçonnerie, à la fois dans la construction et la réhabilitation des anciennes structures. Le fibre de verre et le grillage peuvent améliorer non seulement la capacité de résistance du matériau, mais aussi conserver l'intégrité structurelle et d'augmenter la ductilité par une résistance accrue. Donc, il est affirmé que les méthodes disponibles d'application de fibre de verre et de grillage sur les membres de maçonnerie, sont très efficaces et constituent un bon potentiel.

D'autre par la disposition de forme X avec des talents comme présenté dans le triplet 5' présente un meilleur comportement au cisaillement et pour le grillage c'est acier de maille 6x6.

Recommandations pour des nouvelles études

- Des recherches supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer avec précision le pourcentage optimal de renforcement par les différents types de textiles.

- Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les facteurs environnementaux agressifs tels que température, cycles de gel-dégel, l'exposition aux UV, etc.

- Pendant un test expérimental élément structurel isolé et idéal est généralement testé. Comme par exemple, quand un mur est testé paroi généralement aussi isolée sans ouverture et aucune architecture particulière est testée. Mais en réalité, ce type de mur ne peut pas être présent. Donc, certains échantillons réels ou parfait représentant des membres réels doivent être testés.

- Des recherches supplémentaires sur le renforcement des deux faces des triplets ou des murs.

Références bibliographiques

[1] www.maçonnerier.com.

[2] : Julian DUPLAN-rapport de PFE-GC5-2010.

[3] "D.M. 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le costruzioni, Cap. 11 Materiali e prodotti per uso strutturale", January 2008."

[4] Renforcement des structures historiques en ma connerie par mat eriaux composites : application aux murs en pierres calcaires

[5] Corradi M., Tedeschi C., Binda L., Borri A., Experimental evaluation of shear and compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing. Construction and Building Materials, 22 p. 463–472, 2008."

[6] Binda L., Pina-Henriques J., Anzani A., Fontana A., Lourenc P.B., A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: Testing and modeling. Engineering Structures 28 p. 1132–1148, 2006."

[7] "La maçonnerie de pierre. Guide technique 6. La ville de Québec. Dépôt légale: 2' trimestre 1989. ISBN 2-920860-30-5"

[8] Ramzi SAHLAOUI.Analyse par le calcul a la rupture des murs en maconnerie en vue de leur renforcement par des composites collés.p36-54 .12 juillet 2011

[9] " Hilsdorf, H. Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression. Designing, engineering and constructing with masonry pro-ducts, eds. F.H. Johnson, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, USA (1969), 34-41."

[10] : les murs en maçonnerie cours -doc- eleve.pdf lycée du bâtiment des Travaux public (Saint Lambert).

[11]. EC 96: Eurocode 6: Design of masonry structures—part 1-1: common rules for reinforced and unreinforced masonry structures, 2006."

[12] Laurent Gornet, **« généralité sur les matériaux composites »,** école centrale nantes ,
France, 2001

[13] Cédric THOMAS, **« etude des mécanismes d'endommagement des composites fibers de**
carbone / matrice polyamide : **application a la réalisation de réservoirs de stokage de gazsous haute pression de type IV »**,, thése de doctorat, ecole nationale supérieure des mines de paris, 2011.

Références bibliographiques

[14] Merdas Abde-elghani**, «utilisation du TFC dans la reparation et le renforcement des poutres en BA »**,, thése de magister, université des fréres mentouri-constantine 2005 .

[15] Laarej Merad, **«ETUDE PAR SPECTROSCOPIE RAMAN ET MODELISATION D'UNE RESINE COMPOSITE RTM»**, thése de doctorat, Université de Tlemcen, Janvier 2010

[16] Christophe PARIS, **« étude et modélistion de la polymérisation dynamique de composites a matrice thermodurcissable »**, thése de doctorat, tniversité de toulouse 2011.

[17] Anh Dung Ngo,**«intrduction sur les matériaux composites»,Ecol de technologie supérieure Mmontréal,Canada,2013.**

[18] Ericka JAO JULES, **«Couplages entre propriétés thermiques, réactivité chimique et viscosité des matériaux composites thermodurcissables en relation avec les conditions de leur elabortion fondée sur l'hystérésis diélectrique» »**, theése de doctorat , ecole nationale supérieure d'art et métiers-paris, 2001

[19] Mme MOHAMADI sadiika, **« cour matériaux composites »**, 2013 – 2014, université AKLI ohanad Ouclhadje de Bouira.

[20] «Glossaire des matériaux composites» - carma –Actualisation octobre 2006.

[21] : dossier pédagogique (les matériaux composite) ANFA.

[22] Zakariya Boufaida, **« Analyse des propriétés mécaniques de composites taffetas verre/matrice acrylique en relation avec les propriétés d'adhésion des fibres sur la matrice»,** thèse de doctorat, , l'université de lorraine ,France, 2015.

[23] CMG system: a – grid installation; b – applying the final mortar layer (Prota et al.2006).

Références bibliographiques