REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Materiaux en genie civil

Thème :

Renforcement de la maçonnerie en brique a l'aide d'un mortier de ciment renforcé(FRM) par différent type de fibre

---

Présenté par

LOUADJ ASMAA

YAHMI YAMINA

Proposé et Dirigé par

M.HERNOUNE.H

Promotion Juin 2019

Remerciements

Je voudrais d'abord remercier dieu, avant toute autre personne, de m'avoir donné courage, santé, volonté, et surtout force afin de pouvoir réaliser ce modeste travail dans des meilleures conditions.

J’aimerais manifester ma gratitude pour la patience, le soutien et l'aide précieuse à ma promotrice M.HERNOUNE.

J’adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je tenais à remercier vivement toutes personnes ayant contribué à la réalisation de ce précieux travail.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

DIDICAS

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après ALLAH pour leurs sacrifices.

À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance qui ma donne l'amoure la gentillesse le respect à moi- même c'est la reine de mon cœur.

À mon père qui a sacrifie toutes sa vie afin de me voir devenir ce que je suis. Merci mes parents.

À mes cher frère : MOHAMMED ,YOUCEF, HASSENE.

et Mes chères sœurs : DALILA, KHADIJA ,NASSIRA.

Pour courages surtout dans mes études.

À mes chers trinômes :ASSMAA pour ses participation vive durant l'élaboration de ce travail et ses famille.

À Tous mes amies en particulier : KANZA ,FATHI ,MANEL ET FARAH,REDA.

À ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage.

À toute la promotion 2019.de Génie civil.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

YAHMI YAMINA

DIDICAS

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après ALLAH pour leurs sacrifices.

À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance qui ma donne l'amoure la gentillesse le respect à moi- même c'est la reine de mon cœur.

À mon père qui a sacrifie toutes sa vie afin de me voir devenir ce que je suis. Merci mes parents.

À mes cher frère : AISSAM

Et Mes chères sœurs : AHLEM, SARA

Pour courages surtout dans mes études.

À mes chers trinômes :YAMINA, pour ses participation vive durant l'élaboration de ce travail et ses famille.

À Tous mes amies en particulier :Kanza ,MANAR,MOHAMED ,BILAL, FATHIA

À ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage.

À toute la promotion 2019.de Génie civil.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

LOUADJ ASSMAA

Résumé

Le but de cette étude est l'amélioration du comportement des murs de maçonnerie en briques perforé. Dans cette étude, une étude expérimentale a été faite pour comparer le comportement des triplets de maçonnerie non renforcés avec celle qui a été renforcé par deux types différents de renforcement. une série des triplets ont été construits avec des briques de maçonnerie de dimensions (220 x110 × 55). Les triplets ont été enduits à l'aide de mortiers renforcés par deux différents types des fibres (polypropylène et l'acier). Sous chargement uni axial jusqu'à la rupture. Pour mener à bien cette investigation, deux types de renforcements des triplets ont étés étudiés et comparés avec des triplets non renforcés afin d'évaluer les performances de la technique de renforcement avec le mortier renforcé et le gain apporté en résistance , rigidité et en ductilité.

Abstract

the purpose of this study is to improve the behavior of perforated brick masonry walls. In this study, an experimental study was made to compare the behavior of unreinforced masonry triplets with that reinforced by two different types of reinforcement. a series of triplets were built with masonry bricks of dimensions (220x110 × 55). The triplets were coated using mortars reinforced by two different types of fibers (polypropylene and steel). Under uni axial loading until breaking. To carry out this investigation, two types of triplet reinforcements were studied and compared with unreinforced triplets in order to evaluate the performance of the reinforcement technique with the reinforced mortar and the gain in strength, rigidity and ductility.

ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو تحسين سلوك جدران البناء المثقبة. في هذه الدراسة،تم إ جراء دراسة تجريبية لمقارنة سلوك عينة البناء غير المقوى مع عينة أخرى معززة بنوعين مختلفان من التعزيز. تم بناء سلسلة من العينات مع الطوب من أبعاد البناء (220 × 110 × 55). تم طلاء عينة باستخدام ملاط مقوى بنوعين مختلفين من الألياف (البوليبروبيلين والصلب). تحت تحميل محوري حتى الكسر. لإجراء هذا التحقيق تمت دراسة نوعين من التعزيزات و مقارنته مع العينة الغير معززة من اجل تقييم اداء تقنية التعزيز مع الملاط المقوى و الاكتساب في القوة و الصلابة و الليونة .

sommaire

Résumé

Sommaire

Liste Des Tableaux

Liste Des Figures

I. Introduction générale……..1

CHAPITRE01: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I .1.Introduction…… .. 3

I.2 Maçonnerie…….. 3

I.2.1 Définition…… 3

I.2.2. Domaine d'application……. 3

I.2 .3 types de maçonnerie …….. 4

I.2.3.1 Maçonnerie non armée ……. 4

I.2.3.2 Maçonnerie de pierre naturelle ……. 4

I.2.3.3 Maçonnerie en brique d'terre cuite……5

A. Brique pleine …… 6

B. Brique perforée…… 6

C. Brique creuse …… 6

D. I.2.3.4.Maçonnerie en briques silico – calcaire …… 7

E. I.2.3.5 Maçonnerie en agglomérés de béton …….. 7

F. I.2.3.6 Maçonnerie armée…… 8

I.3 Les Mortiers…… 9

I.3.1 Définition du mortier …… 9

I.3.2 Types de mortier …… 9

I.3.2.1 Mortier de ciment …… 9

I.3.2.2 Mortier de chaux…… 9

I.3.2.3 Mortiers bâtards …… 9

I.3.2.4 Mortierdefibre…….. 9

I.3.4 Propriété spécifique des mortiers ……. 9

I.3.5 Domaines d'utilisation des mortiers ……. 10

I.3.5.1 Les mortiers de ragréage…… 10

I.3.5.2 Scellements et calages…… 10

I.3.5.3 Mortiers et coulis de réparation …… 10

I.3.5.4 Les mortiers isolants…… 10

I.3.6 Joint D'un Mortier …… 11

I.3.7 Les types de joints …… 11

B) Le joint concave ou rond …… 11

C) Le joint en V ou creux en anglet …… 11

D) Le joint creux chanfreiné …….. 12

E) Le joint à baguette …… 12

F) Le joint rustique ou «baveux **» ……**…… 12

I.4.Comportement Mecanique Des Structures En Maçonnerie……. 12

I.4.1 Mode de rupture de la maçonnerie …… 12

I.4.2 Comportement de la maçonnerie en compression axiale …… 13

I.4.2.1 Compression de maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers …… 13

I.4.2.2 Compression de maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers 15

I.5. Comportement en traction uni axiale de la maçonnerie 15

I.5.1.Traction de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers ……..15

I.5.2. Traction de la maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers……15

I.6 Comportement de la maçonnerie au cisaillement …… 16

I.6.1 Introduction…… 16

I.6.2 Contrainte de cisaillement …… 17

I.7 Modes de rupture dus au cisaillement dans le plan du mur …… 17

I.8 comportement des murs en maçonnerie sous des charges de cisaillement en diagonale…….. 22

I.9 resistance au cisaillement en fonction de la charge vertical(compression)…… 25

.I.10 Comportement A La Traction De La Maçonnerie…….. 26

I.11. Comportement En Flexion De La Maçonnerie…….. 26

I.12 Travaux effectués sur le cisaillement…… ……..28

I.13 reparation et renforcement des constructions en maçonnerie…… 34

I.14. Exemples de collage de FRP bandes ou tissus .. ……37

I.15 Renforcement par matériaux composite en utilisant une matrice cimentaire …….. 37

Conclusion…… 39

CHAPITRE 02 MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

II.1 NTRODUCTION ……40

II.2.MATERIAUX UTILISE……40

II.3. Caractéristiques des matériaux…… 40

II.3. 1Le ciment……. 40

II.3.2 Chaux…… 40

II.3. 3 Eau de gâchage ……. ……41

II.3.4 brique…….....41

II.3. 5 sable …….. 44

II.3. 5 .1 Caractéristiques de sable……..... 44

II.3. 5.1.1 Analyse granulométrique Norme NF P18 560……..44

II.3. 5.1.2 Modules de finesse Norme NF P18 304 ……46

II.3. 5.1.3 Equivalent de sable Norme NF P 18 -598……..47

II.3. 5.1.4 Masses volumiques …… 49

II.4. Mortiers …….. ……51

II.4.1.Essai sur mortier…… ……..54

II.4.2. 1 A L'état Frais ……..... 54

A. Essai De Maniabilité (Nf P18-452) ……..... 54

II.4.2.2 A L'état Durci 56

II.4.2.2.1 Essais de résistances mécaniques ……..56

a)Resistance a la flexion ……56

b) Résistance à la compression ……57

II.4.2.2.2 Essais mécaniques sur le mortier de référence ……. 61

a)Résistance à la compression …… .. …… … 61

b) Résistance à la traction …….. ……61

II.4.2.2. 3 Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques ……. ……...63

II.4.2.2.4 Conductivité thermique …….....64

Conclusion …….. ……...66

CHAPITRE 03 : RESULTAT EXPERIMENTAUX ET ANALYSE DES TRIPLETS EN MAÇONNERIE

III.1. Introduction ……. 67

III.2 Confection Des Triplet……67

A. Matériel utilisé ……67

B. Préparation de triplet ……67

C. Cure et stockage des triplets…….69

D.Façonnage…….. 69

III.3 Essai sur les triplets……...70

III.3.1. Essai sur les triplets a la compression ……70

III.3.2. Essai sur les triplets au cisaillement……....70

III.3.2.1 Cas de triplet de joint non renforcé …….71

III.3.2.2 Cas de triplet renforce au niveau du joint ……..75

III.3.2.3.Cas de triplet renforcé par une couche de mortier fibré ……...81

III.4 Cohésion, angle de frottement.....86

Conclusion……90

CONCLUSION GENERALE……91

LISTE DE FIGURE

CHAPITRE I

Figure I.1. Maçonnerie non armé.

Figure I.2.A Pierre naturelle.

Figure I.2.B.:mur intérieur en Pierre naturelle.

Figure I.3. Brique en terre cuite pleine.

Figure I.4: Mur en briques perforées .

Figure I.5. Brique creuse.

Figure I.6. Maçonnerie en briques silico – calcaire.

Figure I.7. Fabrication des parpaings (Sogerhwit 2016) (photos prises par les auteurs).

Figure I.8. Maçonnerie armée.

Figure I.9. Les mortiers et coulis de réparation.

figure1.10: Les deux façons de faire les joints d'un mortier.

Figure I.11: Comportement des murs remplis de maçonnerie (GHANEM, 2013).

Figure I.12 .comportement uni axial de la maçonnerie sous chargement normale aux.

Figure I.13. Diagramme typique expérimentale contraintes déplacements pour un prisme.

De dimensions 500 × 250 × 600 [mm3] avec : fmo la résistance du mortier à la compression Joints de mortier.

.**Figure I.14** .L'installation de l'essai de résistance à la traction pour la maçonnerie avec

Un chargement parallèle aux joints de mortier.

Figure I.15*:* diagramme typique contraintes-déplacements pour l'essai de résistance à la Traction dans une maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier.

Figure I.16 Modes de ruptures pour un mur de maçonnerie sous l'effet d'un effort de

cisaillement [MANN et MULLER 1985 cité par FOUCHAL 2006].

figure I.17 ; couplet (a) et triplet(b) utilisés pour caractériser le comportement au cisaillement du joint .

Figure I.18 : Diffèrents essais de caractérisation du comportement au cisaillement du joint de mortier .

Figure I.19 ; configuration de l'essai de cisaillement direct sur des couplets et les courbes de comportement au cisaillement du joint de mortier selon différents niveaux de compression .

Figure I.20 Essaisde cisaillement.

Figure I.21 Essaisde traction diagonale.

figureI.22 Schémade fissuration(LAFUENTE, 1990).

FigureI.23 Résistance au cisaillement en fonction de la charge verticale

(LAFUENTE, 1990)

Figure I.25 Essai de traction.

Figure I.26 Flexion due aux efforts appliqués au plan perpendiculaire au joint de pose.

Figure I.27 Flexion due aux efforts appliqués au plan parallèle au joint de pose.

FigureI.28 Test de résistance du cisaillement initialeselonl'ASTMEN1502-3 (MIHA,2008).

Figure I.29 Résultats obtenus sur les blocs (MIHA, 2008).

Figure I.30: Dispositif de l'essai (Gabor, 2006) . a)Panneau carré homogène soumis à la contrainte de cisaillement pur. b) L'état de stress généré dans un panneau carré soumis à la compression diagonale.

Figure I.31: Résultat des essais.

Figure. I.32: Configuration du test sur les murs (ASTM E 519-02, 2012).

Figure. I.33: Résultat de l'essai de cisaillement (ASTME519-02, 2002).

Figure I.34: Dispositif de l'essai (Vasconcelos, et al., 2012).

Figure I.35: Résultat obtenu des écrasements des murs (Vasconcelos, et al., 2012)

Figure I.36: Test d'un mur en diagonale (CORRADI et AL, 2003).

Figure I.37: Renforcement avec bandes de CFRP Essai de comportement de cisaillement cyclique du mur renforcé .

Figure I.38 Formes de quelques barres, et de lamelles de FRP utilisées dans le renforcement NSM.

CHAPITRE II

Figure II.1: Ciment de Gica.

FigureII.2: brique perforée.

Figure II.3: Les briques en compression selon les trois directions.

Figure II.4: Les briques en flexion selon les deux directions.

Figure. II.5: sable utilisée.

Figure II.6 *:* L'essai d'analyse granulométrique.

Figure II.7.. Courbe granulométrique de sable Fin.

Figure II.8: Essai d'équivalent de sable (sable fin).

Figure II.9: Essai de masse volumique de sable fin.

Figure II.10 : essais Masse volumique apparente.

Figure II.11 : formulation de mortier batard.

Figure II.12 : Appareil de malaxage.

Figure II.13: Préparation des éprouvettes.

Figure II.14 : La conservation des éprouvettes prismatiques de dimensions 40x40x160 mm.

Figure II.15 : Maniabiliméttre **.**

Figure II.16: fonctionnement du Maniabilité. [22].

Figure II.17. Maniabilité de mortier.

Figure II.18 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (VENUAT, 1989).

Figure II.19 L'essai de résistance à la flexion.

Figure II.20 Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (Michael, 1989).

Figure II.21:L'essai de résistance à la compression.

Figure II.22 : Compression de mortier témoin : (a) courbe de contrainte-déformation(b) mode de rupture.

Figure II.23 Compression de mortier fibré (acier) : (a) courbe de Contrainte-déformation(b) mode de rupture.

Figure II.24 Compression de mortier fibré (polypropylène) : (a) courbe de Contrainte-

déformation: (b) mode de rupture.

Figure II.25 Essai Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques.

Figure II.26. Vitesse e propagation de son dans le mortier.

Figure II.27: essais de conductivité thermique .

Figure II.28. Conductivité thermique de mortier .

CHAPITRE III

Figure III.1. Préparation de triplet (1.1.5).

Figure III.2. Préparation de triplet.

Figure III.3 Cure et stockage des triplets.

Figure III.4 Triplet en brique perforé.

Figure III.5 : essais compression sur triplet.

Figure III.6: Essai de cisaillement sur un assemblage de triplet en briques perforé.

Figure III.7: Essai de cisaillement sur un triplet en brique perforé avec une contrainte de (pré compression de 0Mpa).

Figure III.8 : Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé avec une contrainte de (pré compression de 0.2Mpa)

Figure III.9 Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé avec une contrainte de pré (compression de 0.6 Mpa)

Figure III.10: Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé avec une contrainte de (pré compression de 1 Mpa)

Figure III.11 essais de cisaillement sur les triplets en brique perforé avec différentes valeurs de la contrainte de pré compression .

Figure III.12 : Mode de rupture de triplet.

Figure III.13: Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de pré compression de 0 Mpa)

Figure III.14 Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de pré compression de 0,2 Mpa.

Figure III.15: Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le

Polypropylène a une contrainte de (precompression de 0,6 Mpa).

Figure III.16 : Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de pré compression de 1 Mpa).

Figure III.17essais de cisaillement sur un assemblage de triplet en brique perforé de joint renforcé par les fibres polypropylène .

Figure III.18: mode de rupture des triplets.

Figure III.19: Essai de cisaillement sur le triplet renforce au niveau du joint par les fibres en acier (pré compression de 0 Mpa).

Figure III.20 Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé (Acier 0.2 Mpa).

Figure III.21 : **:** Essai de cisaillement sur le triplet renforce au niveau du joint par les fibres en acier (pré compression de 0,6 Mpa).

Figure III.22 : Essai de cisaillement sur le triplet renforce au niveau du joint par les fibres en acier (pré compression de 1 Mpa).

Figure III.23 essais de cisaillement sur un assemblage de triplet en brique perforé de joint renforcé par les fibres d'acier.

Figure III.24 : Mode de rupture.

Figure III.25: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une (pré compression de 0 Mpa).

Figure III.26:: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une(pré compression de 0.2 Mpa).

Figure III.27 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une(pré compression de 0 .6Mpa).

Figure III.28 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une (pré compression de 1Mpa).

FigureIII.29: **:** Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a différente valeur de pré compression.

Figure III.30 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une(pré compression de 0 Mpa).

FigureIII.31 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé

par des fibres en acier a une (pré compression de 0.2 Mpa).

Figure III.32 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une (pré compression de 0.6 Mpa).

Figure III.33 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une (pré compression de 1 Mpa).

FigureIII.34: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier avec différente valeur de pré compression.

figure III.35 : valeurs ultimes de contraintes de cisaillement (tèmoin).

figure III.36 valeure ultimes de contraintes de cisaillement (acier).

figure III.37 : valeure ultimes de contraintes de cisaillement (poly).

Figure III.38: essai de cisaillement sur triplet avec joint renforcé (0Mpa).

Figure III.39: essai de cisaillement sur triplet renforcé par une couche de mortier fibrée (0Mpa).

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I.1. Spécification par proportion selon la norme .

TableauI.2 Les valeurs caractéristiques f_{vkO}suivantl'eurocode6etlesvaleurstrouvés expérimentalement par MIHA TOMAZEVIC (MIHA,2008).

Tableau. I.3: Résultats expérimental et numérique de cisaillement (Vasconcelos, et al., 2012).

CHAPITRE II

Tableau. II.1: La fiche technique des propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida.

Tableau (II.2) : montre que la masse volumique des briques et de l'ordre de 1371 Kg/m3.

Tableau (II.3): La résistance à la compression en fonction de la disposition des briques **.**

Tableau (II.4) : Résultats d'analyse granulométrique du sable .

Tableau (II.5): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

Tableau (II.6) : Résultats d'essai de l'équivalent de sable.

Tableau (II.7) : Résultats de calcul de la masse volumique.

Tableau II.8: dosage de mortier bâtard.

Tableau (II.9) : Type de mortier selon le temps de maniabilité.

***T*ableau II.10 :** Les résultats de la maniabilité acceptables.

***T*ableau II.11 :** caractéristique mécanique mortier témoin

***T*ableau II.12:** caractéristique mécanique mortier fibré (Acier).

Tableau II.13 :caractéristique mécanique mortier fibré (polypropylène) .

Tableau II.14: Résultats expérimentale de la résistance à la traction en flexion et de compression des prismes utilisé dans la construction des triplets.

Tableau II.15. Les résultats Essai Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques.

Tableau II.16. Les résultats essais de conductivité thermique

CHAPITRE III

Tableau III .1 :résultat essais de compression.

Tableau III.2 : Résultat des contrainte de cisaillement .

NOTATIONS

CaO : La chaux

CaO : La chaux

SiO_2 : La silice

Al_2O_3 : L'alumine

Fe_2O_3 : L'oxyde de fer

$3CaO\ SiO_2$ (C_3S) : Le silicate tricalcique impur (Alite)

$2CaO\ SiO_2$ (C_2S) : Le silicate bi-calcique impur (Bélite)

$3CaO\ Al_2O_3$, (C_3A) : L'aluminate tricalcique (Célite)

NA : Norme Algérienne

NE : Norme Européenne

f_c : Résistance souhaitée du béton a 28 jours

L: Dosage du liant

ES : Equivalent de sable à piston

ESV : Equivalent de sable à vue

Mf : Module de finesse

S : Le sable

R_t :La résistance a la traction

R_C:La résistance a compression

E : Dosage en eau

E/L : Rapport eau /liant

C : Coefficient d'adhérence

(μ) : Coefficient de frottement apparent

σ_c : Contrainte verticale de pre-compression

τ_0 : Résistance au cisaillement pur

τ: Contrainte moyenne de cisaillement

(Ψ) : Angle de dilatation

(1 :5) : un dosage de ciment et cinq de sable

L'utilisation de la maçonnerie dans la construction des bâtiments est une pratique généralisée dans de nombreux pays.

Les expériences désastreuses des séismes tel que ,celui quis'est produit à EL-ASNAM (1980) en ALGERIE, à COLINGA (1982) en CALIFORNIE, à POPAYAM (1983) en COLOMBIE ,au MEXIQUE(1986) et tout récemment au CAIRE(1997) en EGYPTE ,en GRECE, en TURQUIE(1999) et à AIN-TEMOUCHENT(1999) en ALGERIE ,témoignent de la nécessité de réglementer la construction en maçonnerie ,qui est réalisée généralement sans contrôle.

La maçonnerie présente un comportement très complexe ,ceci est du essentiellement à l'hétérogénéitédesmatériauxetdestechniquespresqueartisanalesassociées à sa production, qui en font un matériau très variable, difficile à normaliser.

A l'état actuel la résistance de la maçonnerie au cisaillement est estimée sur la base de relations théoriques déduites des relations expérimentales obtenues à partir des essais sur des triplets.

L'utilisation de matériaux composites pour le renforcement des structures occupe Un espace de plus en plus grand dans le monde entier. Les avantages des matériaux composites résident dans leur résistance, leur faible poids ajouté à la structure, des matériaux Faciles à appliquer, et non corrosifs. Tous ces avantages rendent l'utilisation de ces matériaux de plus en plus conseillée de nos jours.

Le but de cette étude est d'améliore le comportement des murs de maçonnerie en briques perforée par un renforcement avec un couche de ciment renforcé par des matériau composite. Notre travail a été organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre, Consacrée à une synthèse bibliographique sur les types de maçonnerie et le comportement de la maçonnerie a la compression, a la traction, à la flexion et au cisaillement.

Dans cette partie ont été abordés l'ensemble des composants intervenant dans cette étude à savoir, les éléments de remplissages en briques creuses de terre cuite, les caractéristiques de la matière première ainsi que les techniques expérimentales de mesure et les procédés de construction des murets testés et de formulation des composites sélectionnés.

- Le deuxième chapitre, présente les matériaux et les techniques expérimentales que nous avons utilisés au laboratoire pour l'élaboration de notre programme expérimental.

- Rassemble les résultats expérimentaux, leur analyse et les conclusions concernant les propriétés à l'état frais et à l'état durci des composites élaborés et leur comportement en tenant compte des effets de l'ajout des fibres de jute
- Dans Le troisième chapitre, on a rassemblé les résultats expérimentaux, leur analyse et les conclusions concernant l'évaluation de la résistance au cisaillement et les relation contrainte-déformation des triplets construits avec des éléments de maçonnerie en brique perforée renforcé par un mortier fibre par deux types de fibre (1 % de fibres de polypropylène ,1 % de fibres en d'acier).

CHAPITRE :01

I .1.Introduction

Les éléments de maçonnerie en Briques de production locale permettent de réaliser pour la construction de bâtiments civils et industriels une importante solution socioéconomique, environnementale et architecturale.

La maçonnerie utilise différents types de composants dans leur fabrication, leur préparation, où leur agencement nécessite un certaine maitrise voir même une science bien étudiée.

Dans ce chapitre, nous allons définir les différents types de matériaux utilisés couramment et leur mode de préparation ou fabrication.

I.2 Maçonnerie

I.2.1 Définition

On appelle maçonnerie un ouvrage composé de matériaux (bloc de béton, briques, pierres, etc.) unis par un liant (mortier, ciment, plâtre, etc.), le plus souvent dans le but de construire un mur, et se comportant comme un tout :

- Discontinuité dans les matériaux.

- La cohésion entre les joints est négligée et la résistance à la traction est considérée comme nulle.

La maçonnerie est considérée comme la technique de construction la plus ancienne et la plus répandue (DESTRAC et coll., 2003).

I.2.2. Domaine d'application

Les fonctions assurées par les murs (ici en maçonnerie, mais cela reste valable pour tous les types de murs) concernent principalement **(1)** :

• La stabilité mécanique sous sollicitations normales.

• L'étanchéité à la pluie pour les parois extérieures (les murs de façade).

• La satisfaction aux exigences thermiques et acoustiques.

• La tenue au feu de la paroi.

• Assemblage facile, dimensions et poids permettant un travail aisé.

Les ouvrages courants de maçonnerie traditionnelle peuvent être classes suivant leur rôle dans l'ouvrage :

• Maçonneries porteuses.

• Maçonneries de remplissage.

• Maçonneries de façade non porteuse ou en doublage

• Maçonneries de cloison.

I.2 .3 types de maçonnerie

I.2.3.1 Maçonnerie non armée

La maçonnerie non armée (**figure I.1**) est généralement utilisée dans les constructions à l'horizontal où le ferraillage n'est pas nécessaire. C'est une maçonnerie où les sollicitations sont modérées.

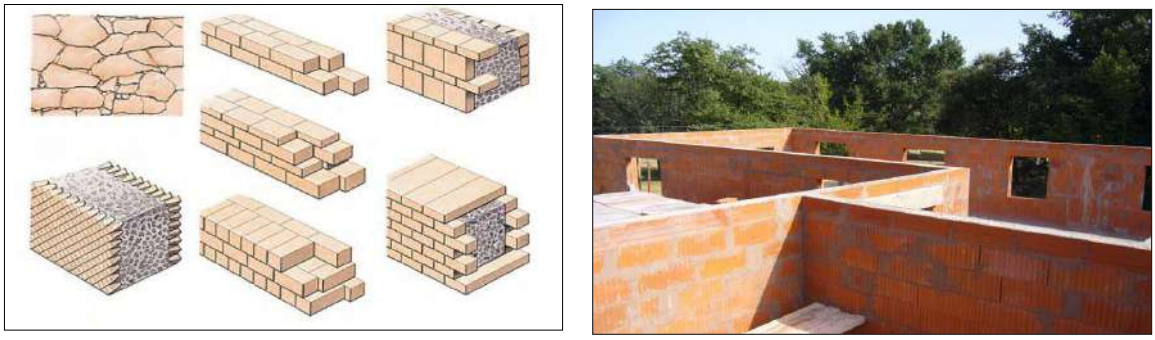


Figure I.1. Maçonnerie non armé.

I.2.3.2Maçonnerie de pierre naturelle

La pierre naturelle est un des matériaux les moins consommateurs d'énergie, elle ne subit presque aucune modification entre sa sortie en carrière et sa mise en œuvre sur le chantier.

Aussi que la ressource en pierre naturelle est encore très importante et que son cout est équivalent aux autres matériaux de construction, à condition de préférer les ressources locales. Sur le plan esthétique, la pierre se défend également : en fonction de la nature de la roche, il est possible de jouer sur le cote "brut" de la pierre en conservant la trace des coupes de scie ou

de travailler des faux joints à la scie pour simuler des dimensions de blocs différentes de ceux réellement poses (**voir figure I.2**).



Figure I.2.A Pierre naturelle [1].



Figure I.2.B.:mur intérieur enPierre naturelle

- **Moellons**

Les pierres non gélives dites moellons, Le moellon brut se présente sous des formes variées. Celles-ci dépendent de la nature de la pierre exploitée, blocs arrondis ou anguleux aux formes diverses pour les pierres dures, grès, granits, calcaires, etc.

- **Jointoiement**

La largeur des joints, variables dans la maçonnerie, ne doit pas excéder 4 cm et les espaces plus larges doivent être remplis par des éclats de pierre. Lorsque les joints restent apparents, ils doivent être imperméables. Les murs ainsi construits peuvent être soit laisses bruts, c'est-à-dire que l'appareil reste visible en parement, soit recouverts d'un crépissage.

I.2.3.3 Maçonnerie en brique d'terre 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.

Généralement Il existe quatre types de briques :

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.

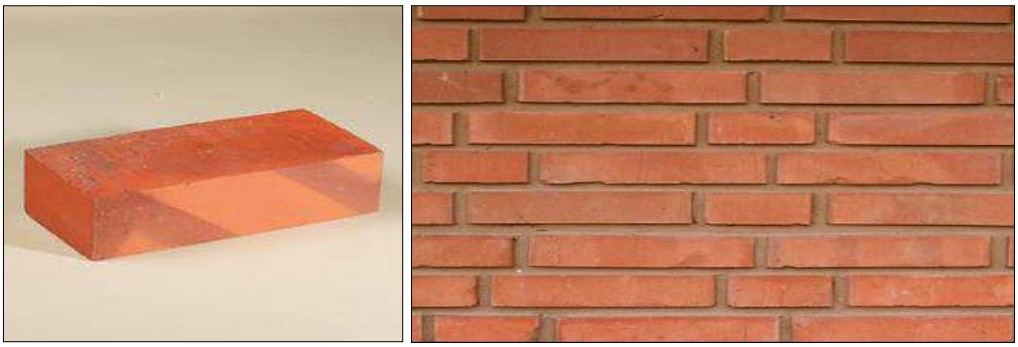


Figure I.3. Brique en terre cuite pleine.

B. Brique perforée

Brique qui porte des trous perpendiculaires aux plans de pose, on l'utilise pour les éléments porteurs et isolants (**figure 1.4**)

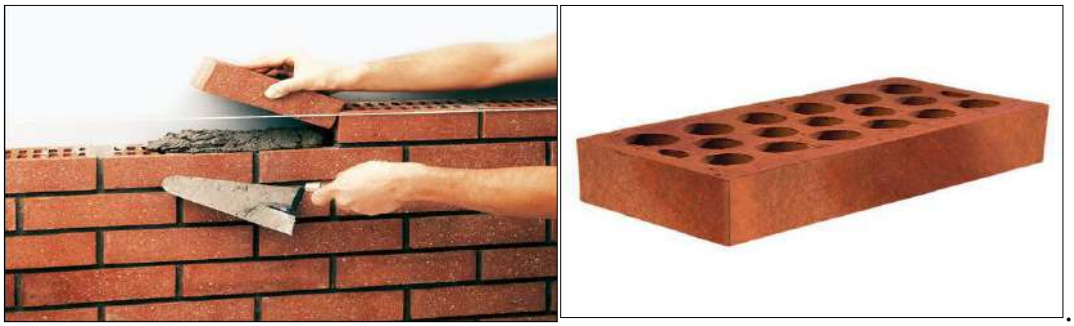


Figure I.4: Mur en briques perforées (www.wienerberger.fr)

C. Brique creuse

Brique avec des trous parallèles au lit de pose (figure 1.5). La surface des vides est plus importante que la surface de la matière ; utilisée pour les cloisons et les doublages, en raison de sa légèreté et de son isolation thermique.

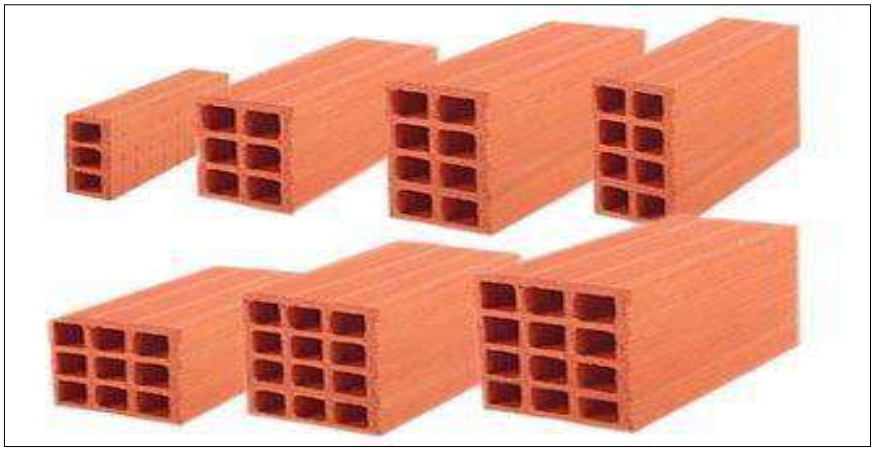


Figure I.5. Brique creuse

I.2.3.4.Maçonnerie en briques silico – calcaire

La brique silico-calcaire est obtenue par un mélange de sable, de chaux et d'eau à un dosage précis (**figure 1.6**). Le durcissement se fait à la vapeur à une température supérieure à 170°C dans un milieu fermé (autoclave).



Figure I.6. Maçonnerie en briques silico – calcaire.

I.2.3.5 Maçonnerie en agglomérés de béton

Le bloc de béton, désigné couramment sous le nom de parpaing est un matériau qui traverse toute l'épaisseur du mur à construire, il est de forme parallélépipédique et creux (**figure.7.b**) ou plein (**figure I.7.a**) fabriqué en ciment à l'aide d'une machine appelée pondeuse.



Figure I.7. Fabrication des parpaings (Sogerhwit 2016) (photos prises par les auteurs).

I.2.3.6 Maçonnerie armée

La maçonnerie armée est un type de construction où les armatures sont incorporées dans les joints de mortier ou placées dans des trous remplis de coulis de mortier **(2)**Leurs armatures peuvent être:

– Horizontales uniquement (**figure.8.a-b).**

– Horizontales et verticales **(figure.8.c-d-e).**

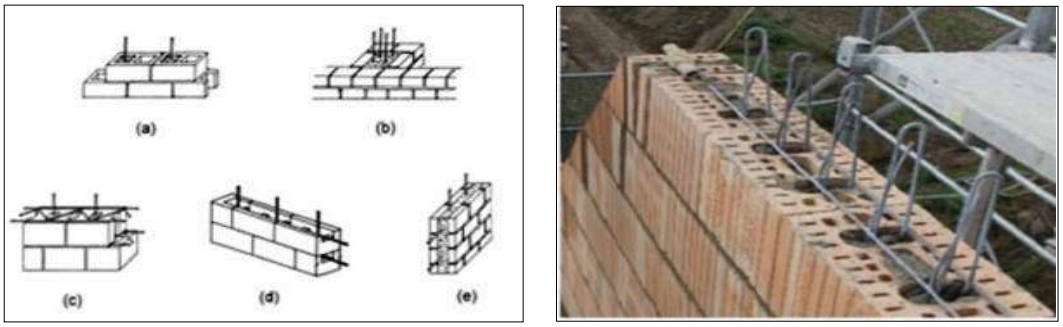


Figure I.8. Maçonnerie armée.

I.3 Les Mortiers

I.3.1 Définition du mortier

Le mortier est un mélange homogène de sable et de liant (ciment ou chaux) que l'on combine avec une certaine quantité d'eau et auquel des adjuvants peuvent être également ajoutés. Ce mortier servira ensuite à l'assemblage des éléments de la maçonnerie.

I.3.2 Types de mortier

I.3.2.1 Mortier de ciment

Ce mortier est composé essentiellement de ciment, sable et d'eau, sa résistance est proportionnelle à la qualité du ciment incorporé**.**

I.3.2.2Mortier de chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment. La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments **.**

I.3.2.3 Mortiers bâtards

Est un mélange de ciment, de chaux et sable. Le ciment et la chaux sont généralement utilisés avec des proportions égales ; ce type de mortier durcit plus lentement que le mortier de ciment.

I.3.2.4Mortierdefibre

L'incorporation de fibres d'acier ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers ésentant une cohésion supérieure et moins fissurables. Ce sont soit des mortiers pré mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.

I.3.4 Propriété spécifique des mortiers

Les mortiers doivent avoir les propriétés spécifiques pour améliorer certain caractéristiques qui sont évalués dans un laboratoire.

La norme **[3]** fournit des indications sur le type de mortier en fonction du dosage de la chaux par rapport au ciment (**Tableau I.2**).

Tableau I.2. Spécification par proportion selon la norme **[3]**.

Type de mortier	Proportions par volume (matériaux cimentaires)		Ratio d'agrégat – Mesuré à l'état humide et lâche
	Ciment	Chaux	
M	1	¼	Pas moins de 2¼ et pas plus de 3 fois la somme des volumes séparés des matériaux cimentaires
S	1	Plus de ¼ à ½	
N	1	Plus de ½ à 1¼	
O	1	Plus de 1¼ à 2½	

I.3.5 Domaines d'utilisation des mortiers

I.3.5.1 Les mortiers de ragréage : ils bouchent les trous et bulles, cachent les défauts de Surface pour obtenir une surface plane.

I.3.5.2 Scellements et calages :ils s'utilisent pour sceller des éléments métalliques.

I.3.5.3 Mortiers et coulis de réparation : Comme son nom l'indique, ce type de mortier est utilisé pour le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité la (**figure I.9**) illustre en gros une partie du cas pratique.



Figure I.9. Les mortiers et coulis de réparation.

I.3.5.4Les mortiers isolants : ils permettent d'isoler thermiquement des façades par l'extérieur.

I.3.6 Joint D'un Mortier

Le joint joue un rôle de protection important et doit avoir un comportement irréprochable dans le temps, quelles que soit les conditions d'exposition. Sa dureté est à évaluer en fonction des sollicitations de l'ouvrage et doit s'harmoniser avec celle du mortier de pose et de la Brique. Il y a deux façons de faire les joints **[4]**

- Soit "en montant" (**figure 1.10.a**), c'est-à-dire au fur et à mesure que le mur est monté, en utilisant le mortier de pose.
- Ou "postérieurement" (**figure 1.10.b**), c'est-à-dire après que le mur soit fini où le

Rejointoyage "à posteriori" permet au mortier de pose d'effectuer son séchage et son Retrait, et limite ainsi les risques de fissuration des joints ; l'observation montre que les Murs rejointoyés ainsi ont moins de problèmes d'infiltrations d'eau.



figure1.10: Les deux façons de faire les joints d'un mortier.

I.3.6.1 Les types de joints

A) Le joint plein affleuré. L'excédent de mortier en surface est arasé à la truelle, donnant un Profil plat.

B) Le joint concave ou rond : C'est le profil qui résiste le mieux à la pénétration de l'eau. Il est réalisé avec un fer rond spécial pour presser le mortier.

C) Le joint en V ou creux en anglet : Ce type de joint est aussi très efficace contre la pénétration de l'eau et il est réalisé à l'aide d'un fer spécial.

D**) Le joint creux chanfreiné** : Il est exécuté avec une truelle pour presser le mortier.

E) Le joint à baguette : La façon traditionnelle de réaliser ce joint est de poser une baguette devant le mortier tout en montant le muret de la retirer ensuite. Aujourd'hui. On imite ce joint En grattant le mortier non durci sur une certaine profondeur.

F) Le joint rustique ou «baveux » : Ce profil retient l'eau, qui peut alors pénétrer dans le mur.

Il est fortement déconseillé de l'utiliser

I.4 Comportement mécanique des structures en maçonnerie

I.4.1Mode de rupture 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.

Le comportement des portiques remplis de maçonnerie est défini par les différentes modes de rupture cite ci-dessous.

a) Rupture par glissement

A cause de la formation de fissures horizontales en traction des joints causées par l'alternance de l'action sismique. Des plans de glissements se forment le long des fissures. Ce mode de rupture peut se produire pour les niveaux de charge verticale faible ou pour de faibles coefficients de friction. La rupture se produit par cisaillement du mortier.

b) Rupture par basculement

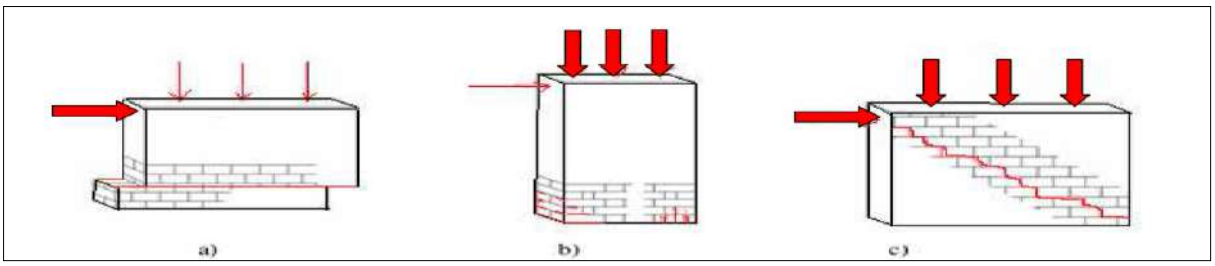
Le basculement se produit lorsque la charge ou le déplacement horizontal augmentent, le joint se rompe en traction, et l'effort tranchant est conduit par la maçonnerie en compression, la rupture finale est obtenue par basculement du mur et rupture en compression du coin.

c) Rupture par cisaillement

La résistance ultime est gouvernée par la formation et le développement des fissures diagonales. Les fissures peuvent suivre le joint ou se former a travers les blocs. Le chemin dépend de la résistance relative du joint par rapport a celle du mortier, de l'interface joint bloc.

d) Rupture par compression du coin

Il s'agit d'une forme de rupture très proche de celle du basculement. Ce mode de rupture est base sur la résistance en compression du coin comprime.



(a): rupture par glissement, **(b)** rupture par basculement, **(c) :** rupture par cisaillement.

Figure I.11: Comportement des murs remplis de maçonnerie (GHANEM, 2013)

I.4.2Comportement de la maçonnerie en compression axiale

I.4.2.1Compression de maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers

La résistance en compression uni axiale Est celui sur prismes (**figure I.12.a**), mais l'utilisation de ce type des spécimens Recommandée par la norme américaine **ASTM E 447** présente des résultats légèrement Différents à ceux proposées par les recommandations de l'essai RILEM qui préconise de Mesurer la résistance à la compression dans la direction normale aux joints de mortier Présentant des joints de mortier horizontaux et des joints verticaux.

Le montage de cet essai est plus proche de la réalité, mais demande des mises en œuvre, Installations et exécution de l'essai assez compliquée et nécessite des appareils adéquats. Il est accepté communément que la résistance en compression uni axiale réelle de la Maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortier peut être obtenue à partir de l'essai RILEM .

Une compression uni axiale dans la maçonnerie conduit à un état de compression triaxial dans le mortier et une compression bi axiale avec traction dans les briques. Les fissures

Verticales apparaissent dans les unités le long de la ligne centrale du spécimen et le long du Joint vertical. La résistance croissante conduit à un comportement plus fragile.

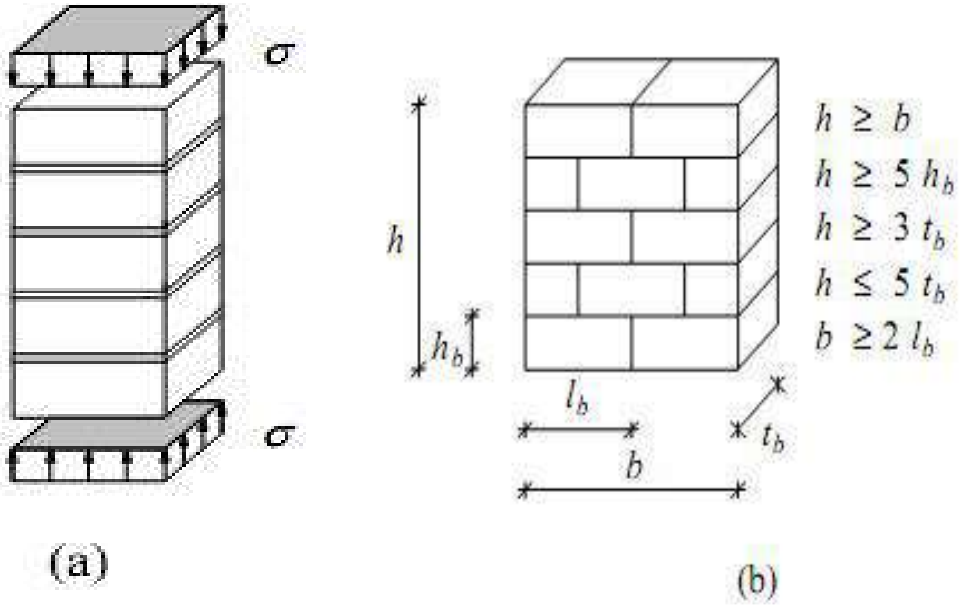


Figure I.12 .comportement uni axial de la maçonnerie sous chargement normale aux Joints de mortier.

(a) schéma représentatif pour un essai sur prisme
(b) schéma représentatif pour l'essai RILEM

Dans la majorité des cas, la résistance à la compression des unités de briques a une grande Influence sur la résistance à la compression de la maçonnerie que la résistance Du mortier.

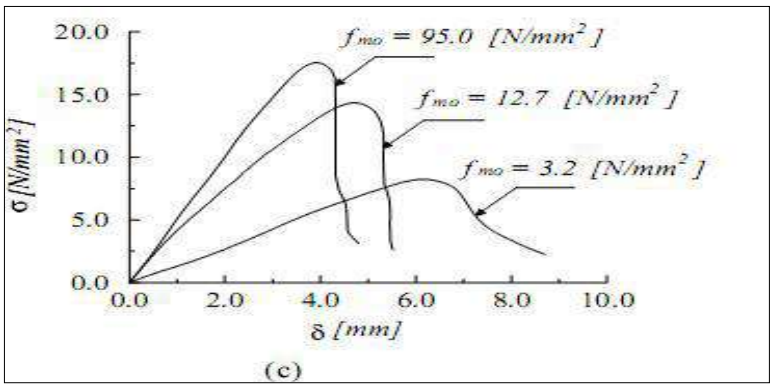


Figure I.13. Diagramme typique expérimentale contraintes déplacements pour un prisme. De dimensions 500 × 250 × 600 [mm3] avec : fmo la résistance du mortier à la compression.

I.4.2.2 Compression de maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers

Les essais de compression uni axiale dans la direction parallèle aux joints de mortier ont reçu sensiblement moins d'attention des chercheurs. Cependant, la maçonnerie représente Un matériau anisotrope et la résistance à la compression appliquée suivant les joints Horizontaux peut avoir une influence sur la force ultime de rupture.

D'après Fouchal (2006,2007) et Lourenco (1996), le rapport entre les résistances à la compression parallèle et normale au joint de mortier horizontal est comprise entre 0.2 et 0.8.

Ces résultats ont été observés sur des éprouvettes de maçonneries qui sont constituées par des briques pleines et perforées à base d'argile, de calcium silicate et aussi du béton léger.

I.5. Comportement en traction uni axiale de la maçonnerie

I.5.1.Traction de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers

Pour le chargement de traction perpendiculaire aux joints de mortier, la fissuration est Généralement causée par une faible résistance à la traction entre le joint de mortier et la brique.

Dans la maçonnerie avec des briques ayant une faible résistance et plus grande résistance de traction entre le joint de mortier et la brique (exemple : briques creuses), les fissures Peuvent se produire à cause d'un dépassement de la résistance à la traction dans les briques.

Comme approximation, la résistance à la traction de la maçonnerie dans ce cas peut être égalisée à la résistance à la traction de la brique.

I.5.2. Traction de la maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers :

Pour le chargement de traction parallèle aux joints de mortier un programme complet d'essai a été installé par **Backes (5).**

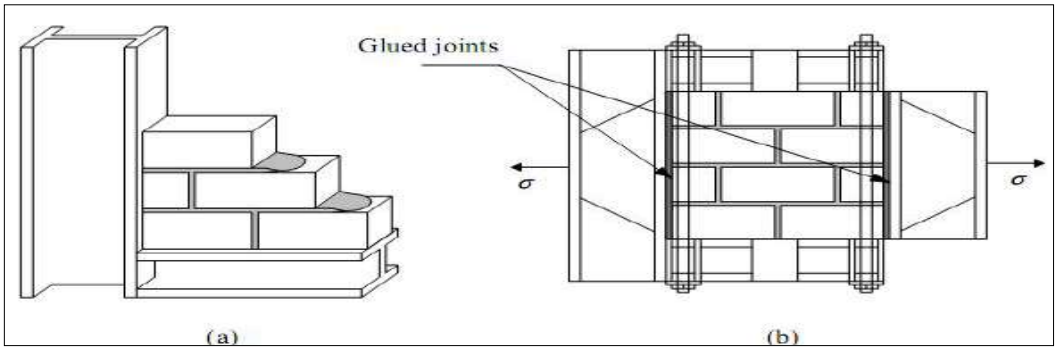


Figure I.14 .L'installation de l'essai de résistance à la traction pour la maçonnerie avec Un chargement parallèle aux joints de mortier.

Deux différents types de fissurations sont possibles, elles dépendent de la résistance Relative des joints de mortier et des briques (figure I. 15).

Le premier type de fissuration prend une forme d'escaliers suivant les joints verticaux et Horizontaux. Le deuxième type de fissuration se produit presque verticalement par rapport aux briques et aux joints de mortier horizontaux.

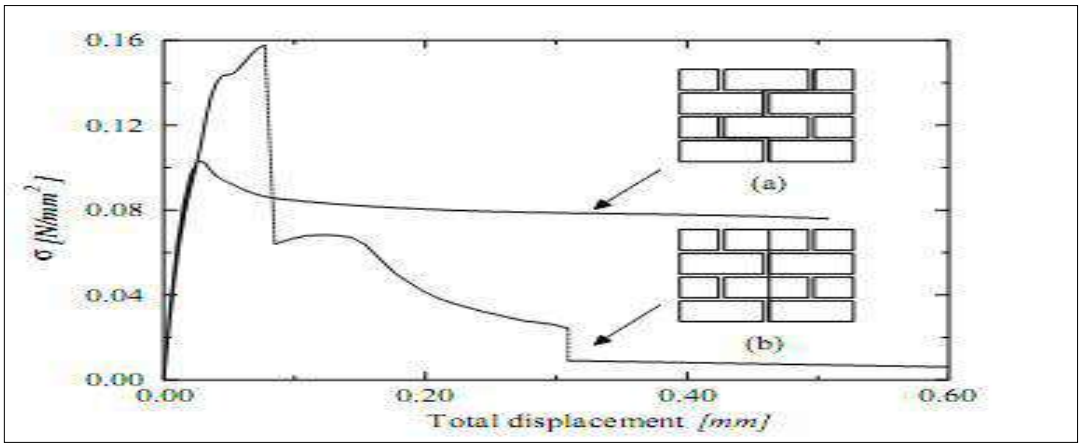


Figure I.15*:* diagramme typique contraintes-déplacements pour l'essai de résistance à la Traction dans une maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier.

I.6.Comportement de la maçonnerie au cisaillement

I.6.1 Introduction

L'évaluation de la résistance au cisaillement est requise pour les murs en maçonnerie soumis aux actions horizontales, tel que le séisme et le vent. Les actions horizontales sont généralement combinées avec les actions gravitaires du poids propre ou des surcharges normales aux joints de mortier. Les murs en maçonnerie dans les structures soumises aux

actions horizontales présentent généralement deux modes de rupture : - rupture par cisaillement : lorsque les fissures apparaissent le long du joint de mortier horizontal. - rupture par tension diagonale : qui est généralement caractérisée par une fissuration par tension diagonale.

I.6.2 Contrainte de cisaillement : Le comportement au cisaillement de la maçonnerie sous chargement horizontal avec une pré-compression peut être représenté par la loi de frottement de Coulomb qui établie une relation linéaire entre la contrainte de cisaillement (τ) et la contrainte normale de compression (σc) qui s'écrit sous la forme suivante : $\tau = \tau 0 + \mu \sigma c$

1.6.2.1 Résistance au cisaillement pur (τo) : La résistance au cisaillement dépend principalement du type de mortier, de la surface des briques, et de l'adhésion brique-mortier. Il ne dépend pas des caractéristiques mécaniques des briques. Les déplacements mesurés au premiers de chargements sont généralement linéaires, deviennent plus accentués une fois la rupture totale est atteinte.

1.6.2.2 Coefficient de frottement (μ) : Le coefficient de frottement dépend particulièrement des mêmes propriétés des mortiers que la résistance au cisaillement pur, mais les caractéristiques mécaniques des briques ont une certaine influence, puisque pour déterminer cette propriété intrinsèque de l'assemblage des briques en cisaillement, on fait intervenir la compression en même temps que le cisaillement. L'augmentation des contraintes de compression augmente automatiquement la résistance au cisaillement d'une façon linéaire. La pente de la courbe contrainte de cisaillement en fonction de la compression représente le coefficient de frottement.

I.6.2.3 Angle de dilatation (Ψ) : Une autre caractéristique des joints de mortier a été définie par Lourenco P.B (2003), c'est l'angle de dilatation Ψ qui mesure le changement de volume pendant le cisaillement, le rapport entre le déplacement normale et le déplacement de cisaillement donne la tangente de l'angle de dilatation Ψ ,cet angle est généralement positif et tend vers zéro ave l'augmentation du déplacement de cisaillement et la contrainte de confinement.

1.7 Modes de rupture dus au cisaillement dans le plan du mur :

Dans ce cas, le mur est soumis à des efforts horizontaux, en plus d'un chargement vertical dans le plan du mur. Ce chargement biaxial est simplifié par le schéma proposé par la **(figure 1.16**), le mur est soumis à un chargement vertical uniforme le long de la partie supérieure qui

vient s'ajouter une charge horizontale concentrée. Les différents modes de ruptures obtenus sont :

1. Rupture due au frottement et au cisaillement horizontal au niveau des joints horizontaux,

2. Rupture en traction dans les joints inférieurs du mur causée par le moment d'encastrement,

3. Rupture en compression de la maçonnerie à la base du mur induite par la force de traction transversale dans les unités et enfin rupture due au cisaillement. Dans ce dernier cas, la combinaison des efforts de compression et de traction conduit à une rupture diagonale du mur. Ce mode de rupture peut être décomposé en une rupture des joints horizontaux et une rupture en traction des briques. Pour un effort vertical et une force de cisaillement faibles, la rupture diagonale se produit le long des joints verticaux et horizontaux et prend une forme d'escalier. Pour le cas d'un effort vertical de forte intensité et une faible force de traction dans les briques, la rupture diagonale passe à travers les briques et le long des joints verticaux. Ce dernier mode est appelé aussi rupture fragile ou effondrement. Il est généralement causé par la dégradation de la rigidité de la maçonnerie D'autre part, la rupture des joints est considérée comme étant une rupture ductile parce que même après l'apparition de fissures en forme d'escalier, des forces horizontales peuvent encore induire du frottement.

Pour une maçonnerie chargée dans le plan du mur, Les quatre modes de rupture associés sont les suivants :

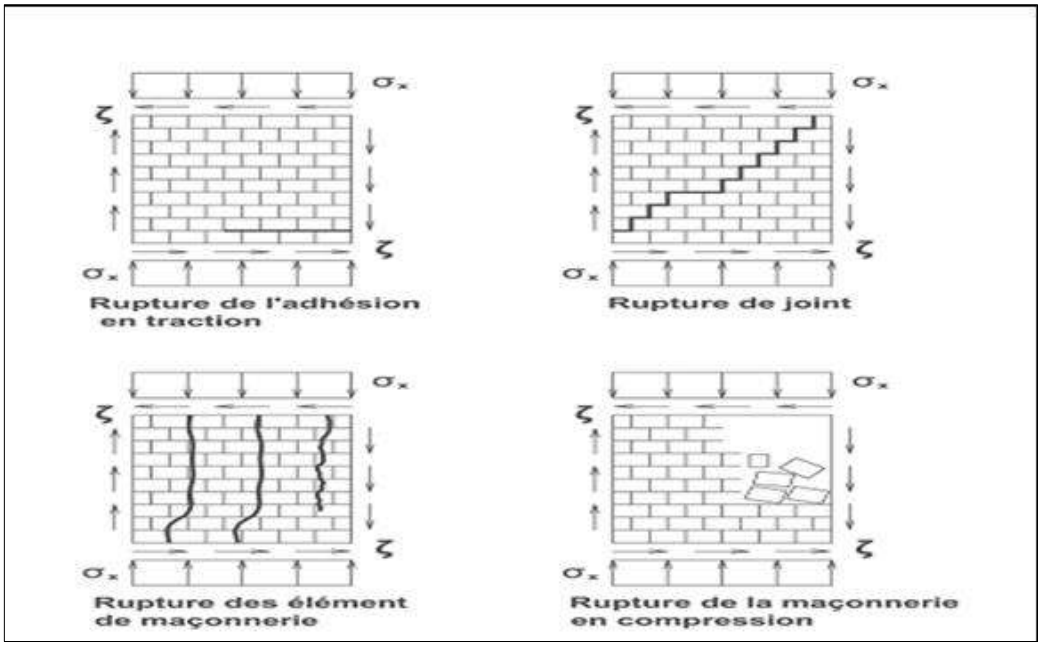


Figure I.16 Modes de ruptures pour un mur de maçonnerie sous l'effet d'un effort de cisaillement [MANN et MULLER 1985 cité par FOUCHAL 2006].

En conséquence, la résistance au cisaillement de la maçonnerie dépend surtout de :

– L'intensité du chargement vertical

– La résistance au cisaillement qui peut être assumée par les joints horizontaux

– La résistance à la traction des briques

– La résistance à la compression de la maçonnerie

A .Essais de caractérisation

L'étude bibliographique révèle que de nombreuses configurations d'essais sont proposées pour mesurer la résistance au cisaillement uni axial d'un joint de mortier. Les dispositifs diffèrent principalement sur le nombre de briques constituant les assemblages et sur leur arrangement. La plupart des études se basent sur des couplets (**Figure 1-17(a))** ou sur des triplets **(Figure 1-17 (b))** mais des assemblages à plus grand nombre de briques sont parfois envisagés.

Le comportement au cisaillement du joint de mortier peut être caractérisé par des essais sur des couplets (cisaillement direct) ou des triplets comme dans la(**Figure 1-16**).

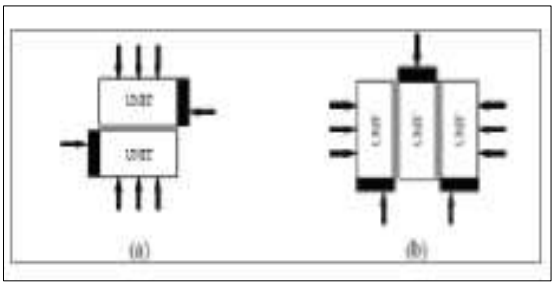


figure I.17 ; couplet (a) et triplet(b) utilisés pour caractériser le comportement au cisaillement du joint

La multiplicité des dispositifs s'explique notamment par le fait qu'en pratique, il est difficile de concevoir un dispositif d'essai, simple, permettant d'appliquer le chargement sans ngendrer d'effet de flexion parasite : l'excentricité entre la force appliquée et la ligne médiane du joint de mortier favorise l'apparition de la flexion. Par ailleurs, **(6)** a montré numériquement que pour un dispositif d'essai fixé (couplet et triplet), la distribution des contraintes le long du joint et donc la résistance au cisaillement uni axiale dépend de l'élancement des briques. Ces différents éléments participent à expliquer qu'un seul et même dispositif ne recueille pas l''unanimité des auteurs.

- **Essais sur des couples de briques**

Hofmann et Stock [7] ont proposé un essai sur des couplets de briques assurant certes une distribution de contraintes dans le joint particulièrement uniforme mais dont la complexité de l'appareillage limite l'utilisation. Van der Pluijm [8] (**Figure 1-17a**)

aproposé un dispositif d'essai plus simple et permettant en plus de faire varier la contrainte de pré-compression (ce n'est pas le cas dans [7].

Une des limites du dispositif de Van de Pluijm [8] est que le joint de mortier est soumis à des contraintes de traction élevées.

- **Essais sur des configurations à trois briques ou plus**

Les assemblages constitués d'au moins 3 briques ontl'avantage de présenter une symétrie tant au niveau de la géométrie que du système de chargement. Cela induit généralement une mise en place des spécimens plus aisée et la possibilité d'utiliser des mécanismes d'application des Charges moins complexes.

Aucun dispositif n'est universel et la recommandation du choix d'un dispositif d'essais est

Restrictive. Van der Pluijm [8], Olivera [9] ; Adbou et al. [10] ; Vasconcelos [11] ; Fouchal [12] ; Parisi et Luccioni [13] ont utilisé des essais de cisaillement direct sur des couplets. Cependant, les essais de cisaillement sur des triplets conformément à la norme NF EN1052-3 ou d'après la norme RILEM TC-76 LUMB5 (1991) ont été utilisés dans des études de Lourenço et al. [14] ; Gabor [15] ; Fouchal [16] ; Mohammed [17] ;; Zimmermann [18] ; Alecci et al. [19].

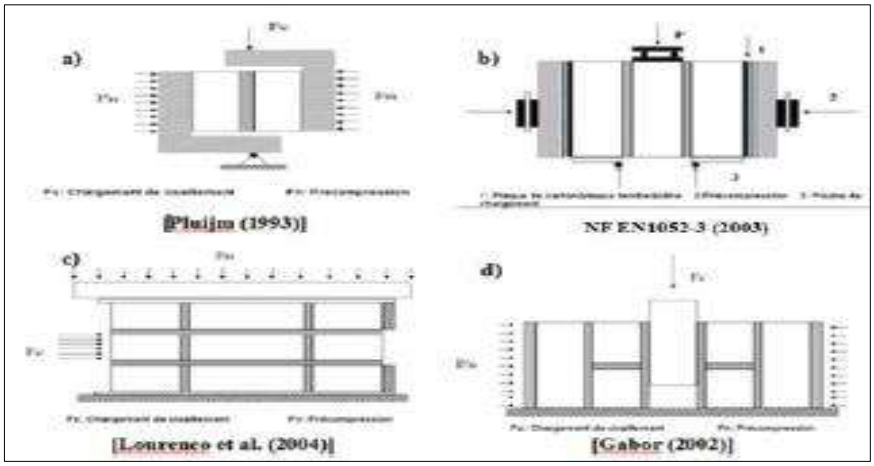


Figure I.18 : Diffèrents essais de caractérisation du comportement au cisaillement du joint de mortier ; essai Ur des couplets (a) ; essais sure des triplets sans joints de mortier horizontaux (b) ; sur des triplets avec joints horizontaux alignès(c)et non alignès (d)

B. Relation entre la contrainte de cisaillement et le déplacement relatif

Grâce à ces essais, on peut caractériser le comportement au cisaillement uni-axial du joint de Mortier de la maçonnerie par des courbes contrainte –déplacement relatif entre deux briques Adjacentes. Considérons par exemple l'étude deVan der Pluijm **[8].** Il a effectué une Étude détaillée de caractérisation du comportement au cisaillement de la maçonnerie (reprise par Lourenço **[20].** Il s'agit d'essais de type cisaillement direct sur des couplets de briques d'argile pleines.

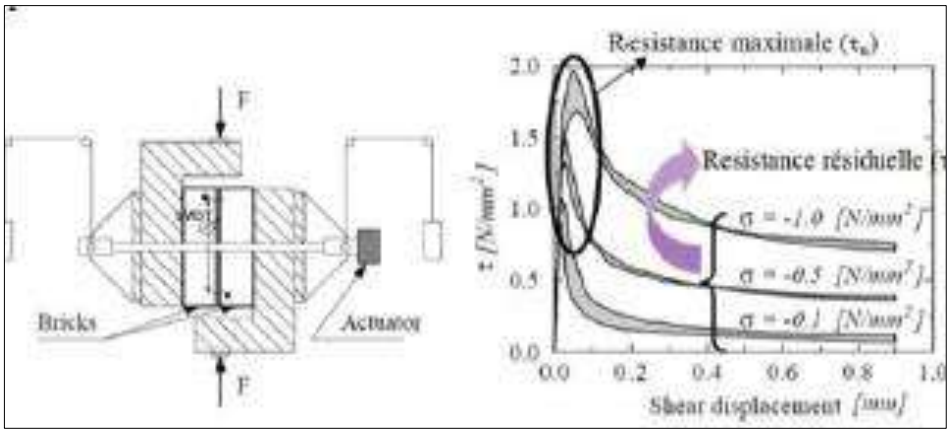


Figure I19 ; configuration de l'essai de cisaillement direct sur des couplets et les courbes de comportement au cisaillement du joint de mortier selon différents niveaux de compression .

La configuration de l'essai est montrée sur la **Figure I.19**le couplet de briques est soumis à une pression de confinement constante et normale au joint, puis une contrainte de

cisaillement est appliquée progressivement jusqu'à la rupture, en pilotant le déplacement. Différents niveaux de contraintes de compression sont appliqués : 0,1 ; 0,5 et 1MPa. Le déplacement relatif entre deux briques adjacentes est mesuré grâce à un capteur LVDT.

Les résultats expérimentaux obtenus partir de ces essais ont montré que le comportement au cisaillement du joint de mortier est caractérisé par une courbe exponentielle d'adoucissement Avec un niveau de frottement résiduel, **Figure 1-19.** Ce résultat est généralisable à d'autres types de briques et d'autres configurations d'essais: essais sur des triplets de briques de terre cuite pleines et creuses (Abdou et al. **[10]** ; Essais sur des triplets de briques de terre cuite creuses **(15])** ; essais sur des triplets de briques calcium- silicate creuses (Bronius et al. [BRO(2009)]), ou essais sur des couplets de briques de pierre (Vasconcelos**[11].** Ce comportement au cisaillement peut être caractérisé par deux phases. La première est associée à une forte rigidité jusqu'au pic correspondant à la contrainte de cisaillement maximale (Wu) qui résulte de l'adhérence brique-mortier (ou mortier/mortier). Après ce pic, en raison de la dégradation progressive de ce dernier, la phase 'adoucissements produit, caractérisée par une chute de la résistance jusqu'à la valeur résiduelle (Wr) qui traduit l'effet de frottement de l'interface brique/mortier ou mortier/mortier.

I.8.comportement des murs en maçonnerie sous des charges de cisaillement en diagonale :

D'un point de vue pratique, il s'avère nécessaire de fixer un critère pour définir la résistance d'un mur en maçonnerie sous charge latérale. De nombreuses normes proposent le calcul de cette résistance sur la base d'une contrainte de cisaillement « nominale » qui pourrait être déterminée expérimentalement [Lafuente, 1990].

Différents types d'essais ont été proposés pour déterminer d'une manière simple et pratique la contrainte de cisaillement :

- Les essais de cisaillement caractérisant le mécanisme du type coulomb au niveau des joints (**figure I.20)**
- Les essais sur petits murs soumis à une traction diagonale **(figure I.21)**

I.8.1 Essais 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

2.4d. En ce qui concerne les autres types d'essais, il a été constaté expérimentalement l'apparition d'efforts de flexion qui modifient les conditions de cisaillement recherchées.

Le modèle dont il est question est constituée d'un ensemble de trois blocs de maçonnerie, où celui du milieu se trouve coupé en deux. Les deux moitiés sont séparées par un joint vertical vide, d'un (1.0) cm de large. Les charges de cisaillement s'appliquent sur cette pièce au milieu, tandis que les pièces externes peuvent être soumises à l'action de charge verticale.

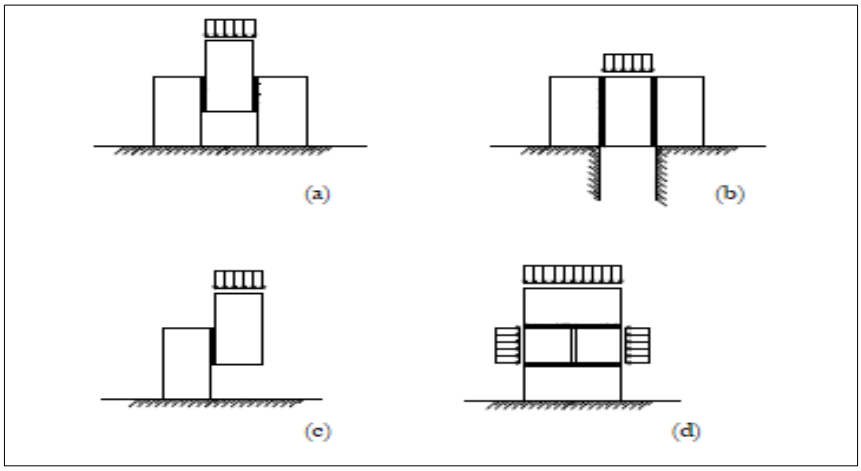


Figure I.20 Essaisde cisaillement

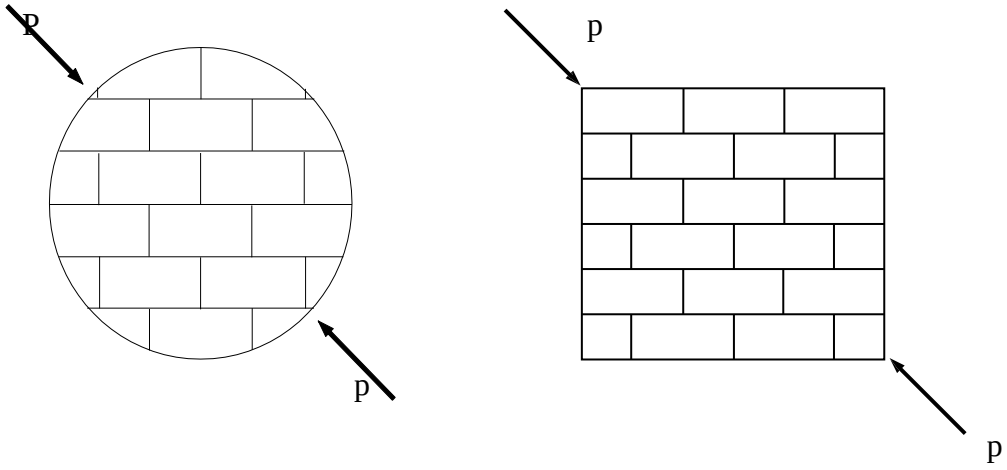


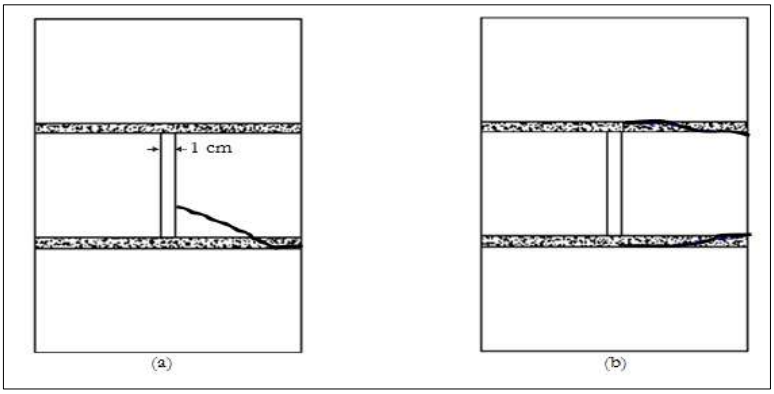
Figure I.21 Essaisde traction diagonale.

Les études de Meli et Reyes [cité par Lafuente, 1990], témoignent de l'existence de différents types de comportement à la rupture :

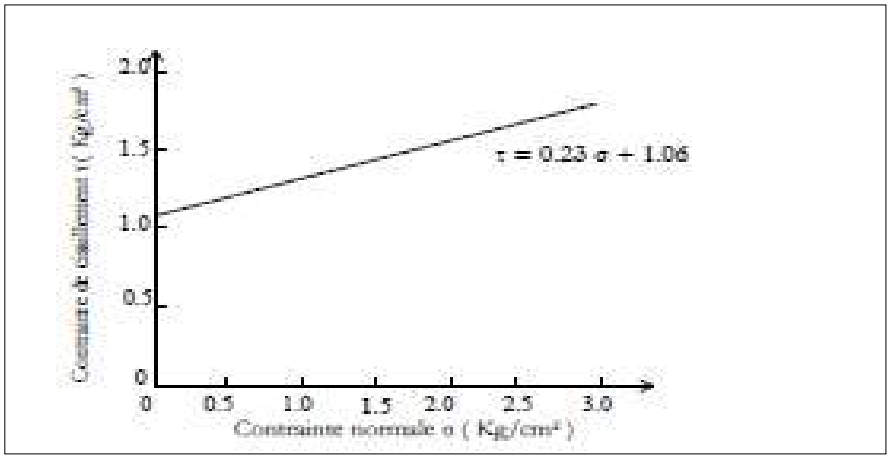
- Rupture de la pièce en maçonnerie par cisaillement (**figure I.22.a).**
- Glissement au niveau des joints (rupture par adhérence (**figure I.22.b).**

Meli et Reyes rapportent aussi quelques cas de fissuration par rupture du mortier.Ce type d'essais aboutit à l'obtention de courbes telles que celles de la **figure (I.23) [21],** qui permettent la détermination des coefficients d'adhérence et de friction (c et φ). Les coefficients de dispersion sont élevés.

Les références consultées rapportent que dans ce type d'expériences, la ruine survient soudainement et d'une manière fragile, ce qui rend impossible d'observer la propagation de la fissure



figureI.22 Schémade fissuration(LAFUENTE, 1990)



FigureI.23Résistance au cisaillement en fonction de la charge verticale (LAFUENTE, 1990)

I.9 Resistance Au cisaillement en fonction de la charge vertical (compression)

C'est le cas des murs porteurs sollicités par des efforts verticaux. Plusieurs essais on tété réalisés sur des murs en maçonnerie soumis à ce type de chargement pour déterminer les résistances ultimes .Il existe une relation de type coulomb (**figure24)** entre la résistance au cisaillement et la contrainte de pré compression c'est-à-dire il existe une résistance au cisaillement initiale qui dépend de l'adhésion entre les briques et le mortier a la quelle vient s'ajouter une composante de frottement proportionnelle a la precompression soit:

$$\tau = \tau_o + \mu.o_c$$

Avec :

τ_o:résistance au cisaillement pour un effort normal nul

μ : coefficient de frottement apparent

o_c : contrainte verticale de pré compression

A la limite lorsque o_c atteint la résistance de compression à la rupture, la résistance aux cisaillement s'annule, la Resistance au cisaillement dépend de la résistance du mortier et pour des murs en maçonnerie de brique ayant une résistance ultime à la compression entre 20 et 50 N/mm^2,τ_o=0.3N/mm^2 pour un bon mortier et τ_o=0.2N/mm^2 pour un mortier moyen.

La valeur moyenne de μ est d'environ 0.4

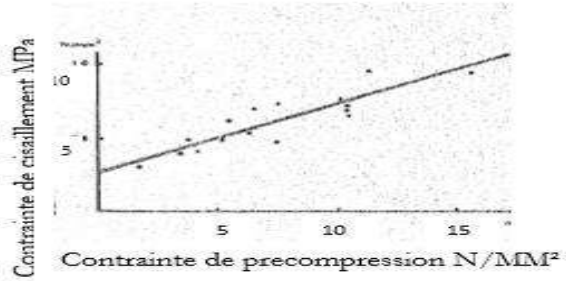


Figure 2.8 Relation entre la résistance au cisaillement et la contrainte de pré-compression (CHERRABI.A, 1990)

.I.10 Comportement a la traction de la maçonnerie

La maçonnerie construite avec des mortiers traditionnels a une résistance très limitée face aux efforts de traction pure. La résistance à la traction est habituellement prise égal à zéro.

Cette résistance peut être sensiblement améliorée par l'ajout d'adjuvants tels que les polymères ou le Latex. Des panneaux de maçonnerie d'un étage ont été fabriqués et pourraient être soulevés et transportés sans rupture.

La résistance à la traction horizontale est très rarement mesurée et aucun essai standard n'est disponible d'où l'absence totale de données significatives. L'essai le plus familier étant celui en travers de la brique (ASTM C952-76) illustré dans la **figure (I.25)**. Les résultats de cet essai indiquent que la résistance à la traction directe se situe entre un tiers et deux-tiers du moment de flexion.

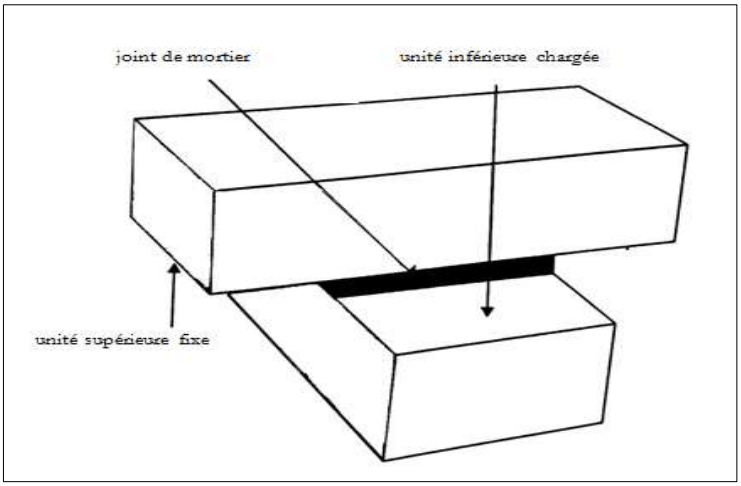


Figure I.25 Essai de traction.

I.11. Comportement en flexion de la maçonnerie

Traditionnellement, la maçonnerie résiste grâce à sa grande inertie et sa masse souvent très Importante. Ces structures ne dépendent pas en grande partie du lien du mortier aux éléments -support.

La maçonnerie construite ces dernières décennies a été, cependant, réalisée avec des murs minces dont la résistance aux efforts latéraux (exemple le vent) dépend principalement de

l'adhérence du mortier. Ce dernier peut être amélioré par l'ajout d'adjuvants.

On distingue deux modes principaux de flexion dans les deux plans orthogonaux :

- Lorsque l'effort est appliqué au plan perpendiculaire aux joints de pose (**figure I.26).**
- Lorsque l'effort est appliqué au plan parallèle aux joints de pose (**figure I.27).**

Il est clair que la résistance est susceptible d'être hautement anisotropique, puisque la

Résistance à l'effort au plan parallèle aux joints de pose est assurée par :

a) La résistance au cisaillement des mortiers de pose,

b) La résistance élastique des joints de mortier vertical face à la rotation des éléments,

c) L'adhérence des joints de mortier vertical,

d) La résistance à la flexion des éléments eux mêmes.

La résistance limite de flexion sera la plus petite valeur de (a + b) ou (c + d) Plan de flexion latéral

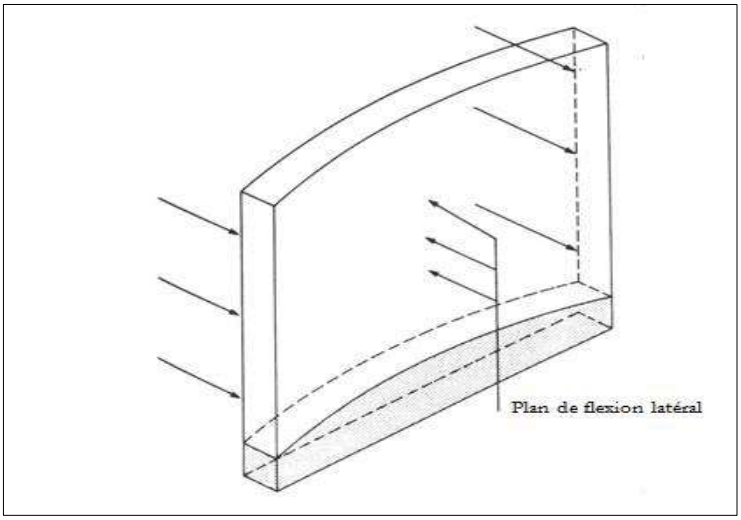


Figure I.26 Flexion due aux efforts appliqués au plan perpendiculaire au joint de pose

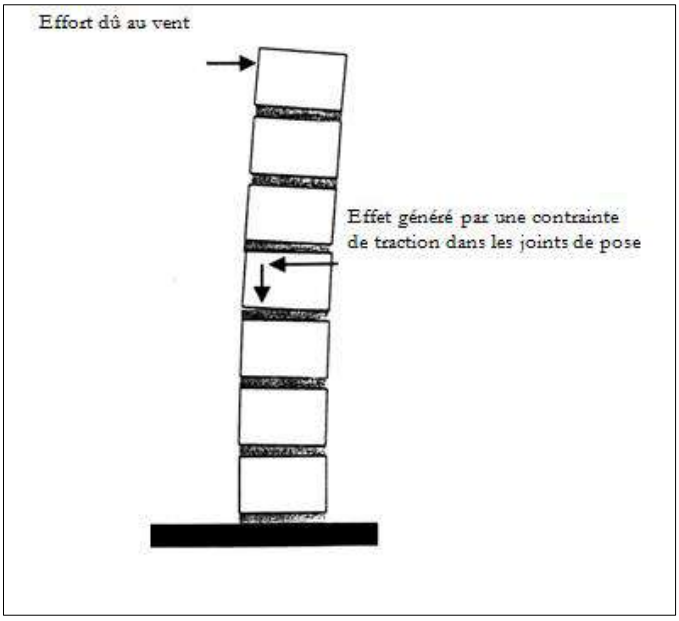


Figure I.27 Flexion due aux efforts appliqués au plan parallèle au joint de pose

I.12Travaux effectués sur le cisaillement

A. Travaux De Miha Tomazevic

MIHATOMAZEVIC (MIHA,2008)à fait un test sur le comportement du cisaillement,3 blocs de briques en terre cuite ont été jointoyé avec un mortier courant ,puis on a placé deux plaques métalliques sous les deux blocs externes et une plaque sur la brique du milieu séparés de 2 petites barres de (ϕ12) ensuite la force a été exercé, comme on peut le voir sur la **figure (I.28)**Pendant l'essai, il faut veiller à ce que des contraintes de cisaillement pur se développent dans les plans de raccordement entre les blocs et le mortier. Six échantillons de chaque type ont été testés. Les résultats de f_{vkO} sont présentés dans le tableau2.2.

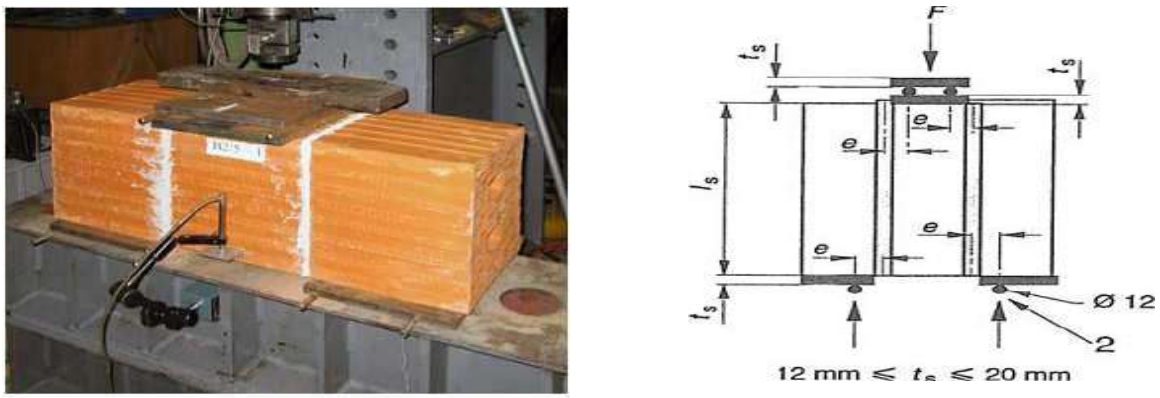


Figure I.28 Test de résistance du cisaillement initiale selon l'ASTMEN1502-3 (MIHA,2008)

Tableau2.2 Les valeurs caractéristiques f_{vkO}suivantl'eurocode6etlesvaleurstrouvés expérimentalement par MIHA TOMAZEVIC (MIHA,2008).

unités	Charge de compression(KN)	Résistance au cisaillement(MPa)			
		5 MPa		10 MPa	
		f_{vkO}	F_{vk}	f_{vkO}	F_{vk}
B1	20.7	0.17	0.23	0.19	0.27
B2	13	0.19	0.26	0.21	0.26
B3	14.6	0.16	0.2	0.16	0.2
B4	12.2	0.26	0.31	0.22	0.38
B5	11.5	0.5	0.6	0.55	0.66
B6	30.3	0.28	0.34	0.28	0.33



Figure I.29 Résultats obtenus sur les blocs (MIHA, 2008)

A. Les travaux d'A. Gabor et Al.

Gabor et al (Gabor, 2006) ont fait une étude afin de mettre en place la distribution de la contrainte de cisaillement dans un panneau en briques de terre cuite et comment elle peut être générée expérimentalement (voir figure 1.23).

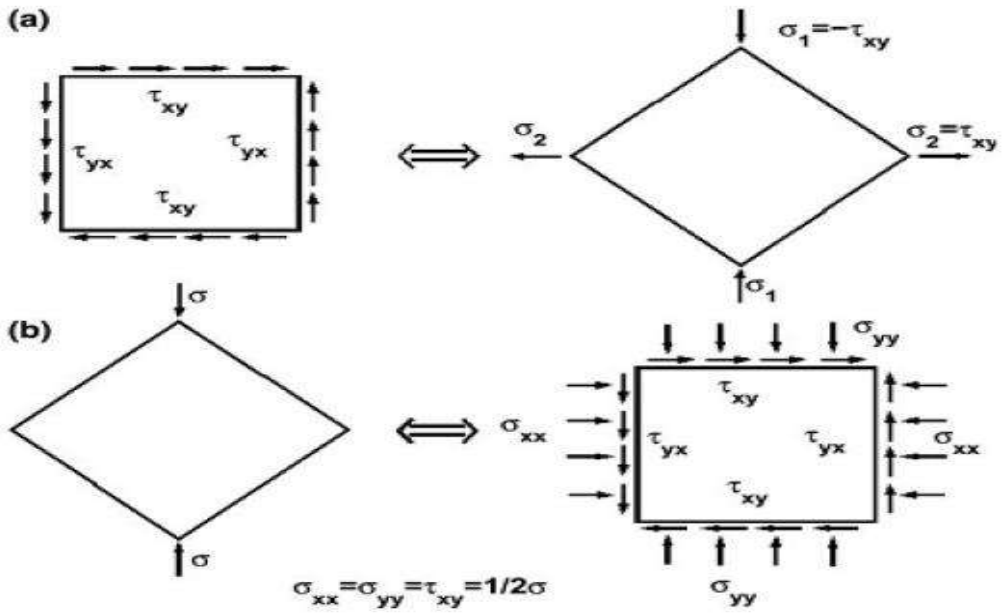
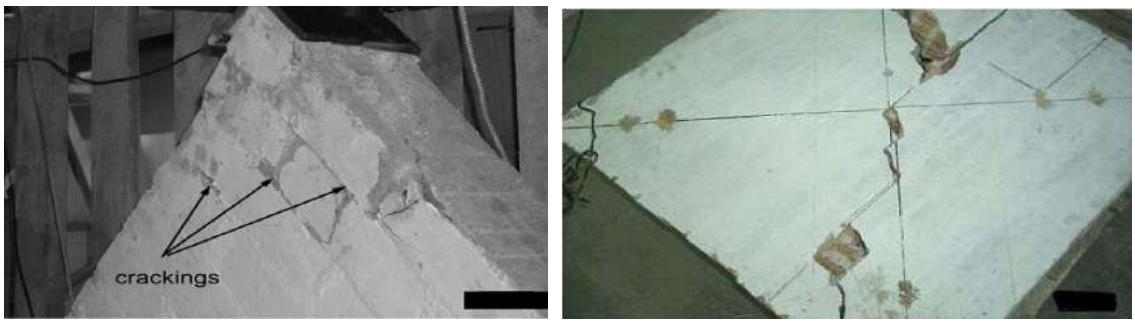


Figure I.29: Dispositif de l'essai (Gabor, 2006) . a)Panneau carré homogène soumis à la contrainte de cisaillement pur. b) L'état de stress généré dans un panneau carré soumis à la compression diagonale.

- **Résultat :**

Pour le premier cas Gabor et al ont obtenu une rupture localisée, marqué avec un glissement et écrasement au niveau des appuis (Figure I.24a), pour le second panneau ils ont remarqué un ne rupture générale du mur (Figure I.24b). La rupture a été très soudaine sans apparition des fissures sur la surface du mur. Néanmoins, l'analyse du panneau après rupture révèle que des fissures se propagent le long de la diagonale comprimée et qu'elles étaient présentes dans les joints de mortier et dans les briques (voir figure I.24 b).



(a) Fissuration de la première paroi (b) Fissuration de la deuxième paroi

Figure I.30: Résultat des essais.

A. Les Travaux De Parker Et Al.

Parker et al ont utilisé une méthode pour déterminer la résistance au cisaillement suivant la norme (ASTM E 519-02, 2012). Cette norme à été développée pour déterminer la résistance au cisaillement des assemblages de maçonnerie. Dans cet essai, une charge verticale est appliquée à des panneaux de 1.2 x 1.2 m², des assemblages en maçonnerie placé à 45 ° par rapport à l'horizontale comme illustré sur les Figure. I.25.

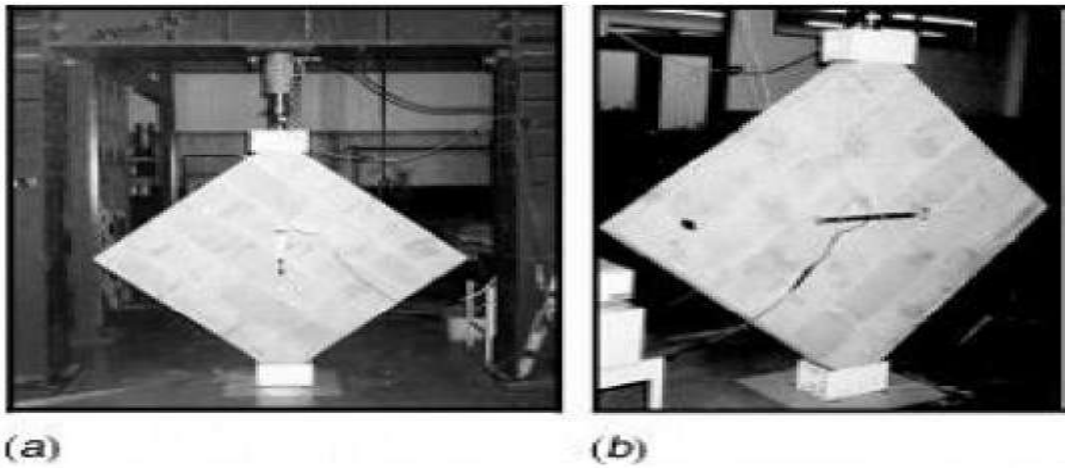


Figure. I.31: Configuration du test sur les murs (ASTM E 519-02, 2012)

le mode de rupture des panneaux de (1.2 x 1.2 m2) en bloc de béton testes par les auteurs. Présenté au-dessous.

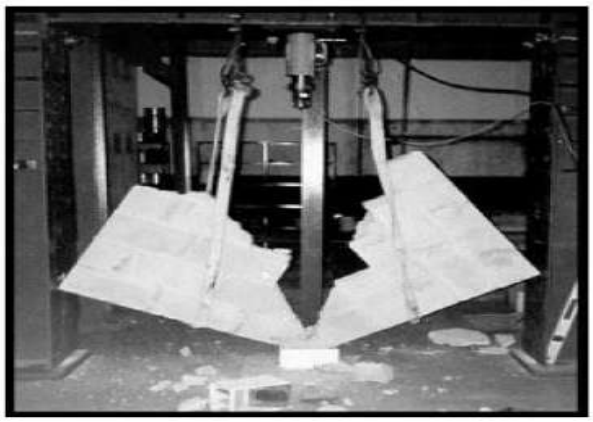


Figure. I.32: Résultat de l'essai de cisaillement (ASTME519-02, 2002)

A. Étude de vasconcelos, alves et lourenço :

Les auteurs (Vasconcelos, et al., 2012) ont fait une étude expérimentale sur des murs en maçonnerie non armée, ces derniers ont été confectionnés avec un mortier de ciment dans une proportion en volume de ciment et de sable de 1:3. La cure des murs a été réalisée dans les conditions ambiantes du laboratoire avec une humidité relative de l'air pratiquement constante et égale à environ 65%. Les blocs de béton ont été également testés en compression uni axiale. La résistance à la compression moyenne obtenue pour le mortier, pris comme la moyenne des 12 échantillons, était de 18.77 MPa. Les essais de compression diagonale ont été effectués selon la recommandation de la norme (ASTM E519-02, 2002). La charge verticale est appliquée au moyen de servocommande, relié à un portique en acier, avec une charge de 200 kN (voir figure 2.21) Les essais de compression diagonale ont été effectués sous le contrôle de déplacement, au moyen d'un LVDT placés dans le panneau.

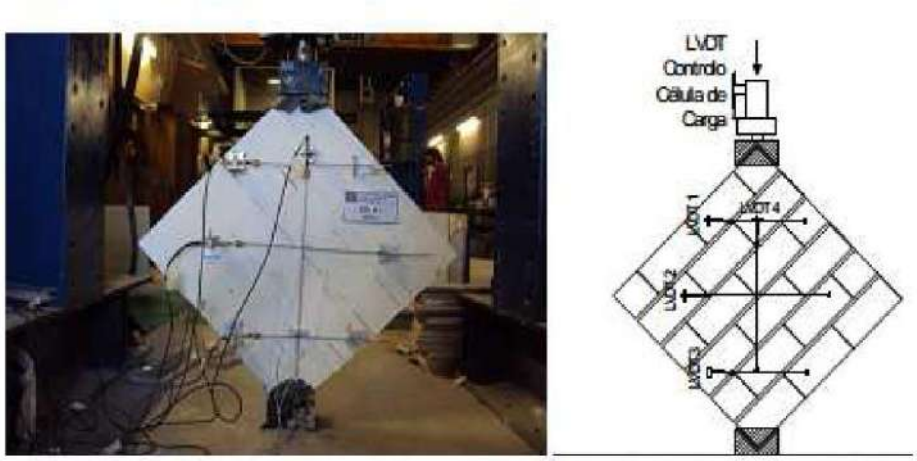


Figure I.33: Dispositif de l'essai (Vasconcelos, et al., 2012)

Les modes de ruptures qu'ils ont obtenus lors des essais d'écrasement voire figure I.28



Figure I.34: Résultat obtenu des écrasements des murs (Vasconcelos, et al., 2012)

Le tableau suivant présente les valeurs de la contrainte de cisaillement et module de rigidité qu'ils ont trouvés.

Tableau. I.3: Résultats expérimental et numérique de cisaillement (Vasconcelos, et al., 2012)

Murets testés	T(MPa)	G (GPa)
(a)	0.42	A4.05

E : Les travaux de Corradi

Le test de de compression en diagonale a été conçu par CORRADI (CORRADI.M, et al., 2003) et dans le but d'évaluer la résistance au cisaillement. Le test a été effectué sur des panneaux de 120 x120 cm² avec une section transversale maximale d'épaisseur de 20 cm dans le but de déterminer la contrainte de cisaillement.

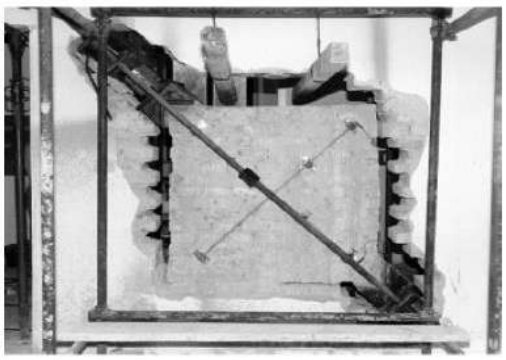


Figure I.35: Test d'un mur en diagonale (CORRADI et AL, 2003).

I.13. Réparation et renforcement des constructions en maçonnerie

Le renforcement est une opération qui consiste à augmenter le niveau de service et en particulier (augmentation de la ductilité, de la résistance) d'une construction pour en permettre l'utilisation dans des conditions non prévues à l'origine ou de lui procurer une protection suffisante contre des sollicitations dont il n'a pas été tenu compte dans les calculs **CGS192**(22).

I.13.1 Renforcement par matériaux composites

L'utilisation des matériaux composites a évolué depuis les années 1960-1970 [CSA-304.1]. Un matériau composite est constitué d'un renfort et d'une matrice. L'efficacité du renforcement par composite est influencé par les propriétés mécaniques de la fibre et de la matrice, la résistance de l'interface fibre-matrice, la quantité de fibre dans le composite et l'orientation des fibres dans le composite. Les matériaux composites présentent plusieurs avantages par rapport à l'acier en tant que matériau ductile et non-corrosif. Ils possèdent une bonne résistance spécifique$\frac{\delta_t}{\rho}$, et elle dispose d'une grande facilité d'application. Cependant, les inconvénients de l'utilisation de matériaux composites viennent de leur faible résistance au feu, la rupture fragile, le fluage et le risque de gâcher la valeur esthétique de structure **[**23**]**.

I.13.2FRP

I.13.2.1 Définition

Les FRP « fiber reinforced polymer» représentent de fibres à haute résistance imprégnés par une matrice polymérique (époxy, polyester, …). Les fibres de FRP utilisées dans le renforcement en génie civil sont des fibres en carbone (CFRP), verre (GFRP), et aramide (AFRP). Le FRP utilisé pour le renforcement des structures se trouve sous forme de tissus, de composite en lamelle ou en barre. L'application de tissus de FRP s'effectue par collage sur la surface extérieure de l'élément avec la technique « wetlay-up » ou «pre-cured ». Les tissus sont secs ou pré-imprégnées par une matrice polymérique. Alors que les lamelles sont des plaques rigides préfabriquées qui s'installent par collage avec une résine chargée époxy [24]. Les lamelles offrent la possibilité de s'appliquer par collage sur la surface extérieure EB « externallybonded » ou dans l'élément par la technique NSM [25]. Les barres de FRP s'appliquent dans les éléments par encrage dans la pierre ou par la technique NSM [26] qui seront utilisés dans cette étude. La Figure I.39 représente un mur historique renforcé par collage de tissus de CFRP sur la surface extérieur [27]. 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 I.40représente quelques formes de barres et de lamelles de FRP par suivante :



Figure I.36: Renforcement avec bandes de CFRP : Essai de comportement de cisaillement cyclique du mur renforcé

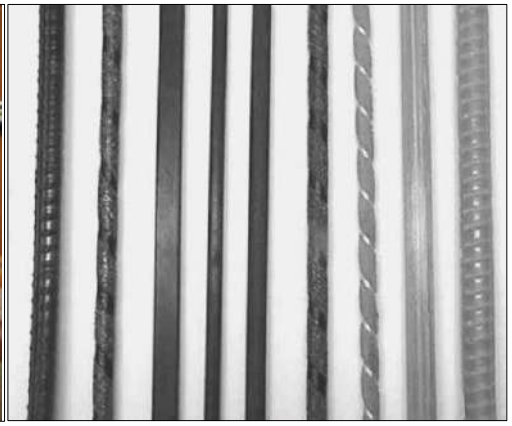


Figure I.37 Formes de quelques barres, et de lamelles de FRP utilisées dans le renforcement NSM

A. Les fibres métalliques

- Acier ;
- Inox ;
- Fonte (amorphe).

B. Les fibres organiques

- Polypropylène ;
- Polyamide ;
- Acrylique.
- Mélange polypropylène/polyéthylène ;
- Aramide ;

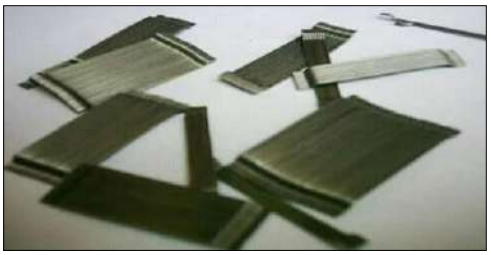
C. Les fibres minérales

- Verre;
- Basalte.

➢ **Acier**

Les fibres d'acier, qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil, ont fait l'objet de plusieurs recherches. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur

diamètre, leur longueur et leurs modes d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenté des élargissements aux extrémités, soit en crochets pour améliorer l'accrochage dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces.

- **Polypropylène**

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 Mpa.

Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques**.**



I.14. Exemples de collage de FRP bandes ou tissus

La capacité d'allongement des fibres de verre est plus importante que celle de fibres de carbone. Alors qu'en termes de résistance et de rigidité, les FRP de fibres de carbone sont plus résistantes à la traction . Les résultats expérimentaux obtenus avec Kalali et al, 2012 [28] montrent que le renforcement avec des bandes de GFRP en plusieurs configurations a donnée une augmentation de la ductilité des murs de maçonnerie testées en compression diagonale. L'augmentation de ductilité va de 61.07% à 479.3 % par rapport au mur de référence. De plus, le collage de FRP sur la surface extérieur du mur s'effectue avec des bandes, ou sur toute la surface du l'élément, Mosallam et al, 2011 [29]. L'influence de la direction des fibres sur le comportement de cisaillement des murs de la maçonnerie avait été étudiée par Santa-Maria, 2004 [30]. Les murs sont soumis à des compressions diagonales et renforcés par des lamelles de CFRP [30]. Les résultats montrent que le renforcement diagonal a plus augmenté la résistance que le renforcement horizontale. L'augmentation de la résistance apportée avec le renforcement diagonale s'élève à 70% par rapport à la résistance du mur non renforcé. En plus, le renforcement diagonal a augmenté la rigidité élastique du mur. En revanche, le renforcement horizontal n'a pas d'influence sur la rigidité axiale. Ainsi, Valluzzi et al [31] ont étudié le renforcement des murs de maçonnerie en variant la direction du renforcement en bandes diagonale et maillage orthogonale. Les fibres utilisées varient de la fibre de carbone, de verre, ou de Polyvinyal-alcohol dont les modules élastiques sont 230, 65, 29 GPa, respectivement. Les résultats montrent que la configuration diagonale est plus efficace que le maillage pour augmenter la résistance au cisaillement. En plus, le renforcement avec les fibres de FRP les moins rigides a été le plus efficace pour augmenter la résistance ultime et la rigidité des murs.

I.15 Renforcement par matériaux composite en utilisant une matrice cimentaire

L'utilisation de la matrice cimentaire renforcée par textiles a été étudiée pour le renforcement des structures en maçonnerie et en béton sous différents cas de chargement. Les études de l'utilisation du TRC dans le renforcement du béton armé se présente dans le confinement des colonnes pour résister aux charges de compression [32] et de torsion [34], le renforcement des poutres et des dalles en cisaillement et en flexion, respectivement [33]. Grâce à la rigidité axiale élevée des fibres de carbone par rapport à celle des fibres de verre, les fibres de

carbones sont préférées aux fibres de verre-AR pour le confinent des colonnes soumis en compression [32]. En plus, le renforcement de poutre en cisaillement est étudié sur des poutres de section rectangulaire et T. Les fibres en verre AR sont orientées à 45° par rapport de l'axe de poutre. Les résultats montrent que contrairement à la poutre de section rectangulaire U, la forme d'ancrage a une influence sur l'augmentation de la résistance de la poutre de section T. En effet, l'utilisation de 3 ou 4 couches de TRC dans les poutres de section T nécessite un ancrage mécanique car l'ancrage du à l'adhérence n'est plus suffisant [33]. Le renforcement des murs de maçonnerie soumis aux charges de cisaillement cycliques a été étudié par Papanicolaou et al 2011 [35]. Les fibres des textiles sont en ; Carbone, basalte, fibre de verre imprégné de bitume, fibre de polyester imprégné de bitume, Polypropylène. Les fibres sont imprégnées par plusieurs types de matrice ; mortier, mortier fibré, mortier mélangé avec de la résine, et résine époxydique. Papanicolaou et al trouvent que le renforcement par TRC donne une augmentation de (15-30%) de la déformation maximale par rapport à celle du mur non renforcé. En plus, l'utilisation de TRC dans le renforcement produit une capacité de déformation du mur 15-30% plus que la capacité de déformation obtenue avec le renforcement avec FRP. En revanche, le renforcement avec TRC est moins efficace que le renforcement avec FRP pour augmenter la résistance au cisaillement. Parsi et al, 2013 [36] ont étudié les murs de maçonnerie soumis à la compression diagonale. Les murs sont renforcés par FRP préfabriqué et appliqué sur la surface du mur par une matrice non-organique. Le renforcement est appliqué en trois configurations ; renforcement d'un seul côté avec GFRP, renforcement de deux côtés avec GFRP, et renforcement d'un seul côté de mur avec GFRP accompagné par des barres d'ancrages qui traversent la section. Le renforcement d'un seul côté du mur donne une augmentation d'un facteur de 1.15 de la résistance au cisaillement par rapport à la résistance du mur non renforcé. En plus ce facteur d'augmentation de la résistance à une valeur de 2.1 dans le cas du renforcement de deux côtés, et 1.34 dans le cas de renforcement d'un seul côté accompagné de l'utilisation de l'ancrage. De plus, l'existence de l'ancrage offre une augmentation de la ductilité plus importante par rapport aux autres configurations de renforcement.

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.

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.) ;
- ✓ La disposition des joints verticaux par rapport aux sollicitations verticales ;
- ✓ La géométrie de la maçonnerie.

CHAPITRE :02

II.1introduction

Notre recherche a pour but d'étudié l'éventualité de renforcement du mortier par les fibres En acier et par des fibres en polypropylène, et d'analyser les comportements de ces mélanges a l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant à ceux d'un mortier témoin.

II.2. Matériaux Utilise

- ✓ La chaux Hydraulique.
- ✓ Le ciment.
- ✓ L'eau.
- ✓ La brique perforée.
- ✓ Le sable.
- ✓ Fibre en acier
- ✓ Fibre Polypropylène

II.3. Caractéristiques Des Matériaux

II.3.1.Le ciment

Au cours de cette étude nous avons utilisé un ciment portland composé (CEM II /A-M (P-L) 42,5 N) produite par l'entreprise LA FRAGE et dérives de soure El ghozlane. Le ciment portland composé est conforme à la norme **NA 442** et à la norme **NF P 15-301** et il dépasse considérablement les exigences de résistance de ces normes.



Figure II.1: Ciment de Gica

II.3.2 Chaux

La chaux éteinte (NHL) et issue de la carrière de chaux de SAIDA. Elle est fabriquée par la société BMSD selon les normes **–NF-P15-311[15]-NF-EN-459-1.**Ces propriétés physiques et chimiques représentées ci-dessous (**tableau II.1**)

Tableau. II.1: La fiche technique des propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida.

Caractéristiques de base	**La fiche technique de la chaux**
Apparence physique	Poudre blanche sèche
CaO [%]	**>83.3**
MgO [%]	**<0.5**
Fe_2O_3 [%]	**<2**
Al_2O_3 [%]	**<1.5**
SiO_2 [%]	**<2.5**
SO_3 [%]	**<0.5**
Na_2O [%]	**0.4-.05**
CO_2 [%]	**<5**
$CaCO_3$ [%]	**<10**
Densité spécifique [g/cm3]	2
Plus de 90µm[%]	<10
Plus de 630µm [%]	0
Matériau insoluble [%]	<1

II.3.3 Eau de gâchage :

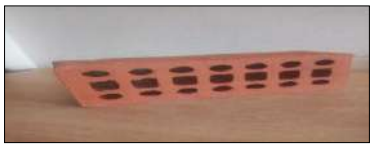
L'eau de gâchage utilisée est une eau potable de robinet. Elle permet à la fois d'hydrater le liant (ciment ou chaux) et à contribuer à l'ouvrabilité du mortier. Le dosage en eau est pris l'ouvrabilité du mortier

II.3.4 brique :

La brique perforée est de forme parallélépipédique rectangle a base d'argile, (L'argile est souvent dégraissée par du sable). Les dimensions représentées suivent la Figure II.3.

a. Caractéristiques géométriques:

Briques perfore : 220 x 110 x 55 mm3



FigureII.2: brique perforée

b. Caractéristiques physiques:

La masse volumique de la brique est déterminée par la méthode géométrique. Les mesures sont effectuées sur trois blocs La masse volumique d'un bloc ρ $(kg/m3)$ est calculée comme suit :

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad \text{(II.1)}$$

Ou :

ρ: Masse volumique apparente en (kg/m3).

M : masse des blocs en (kg).

V : volume net.

Le tableau II.2 : montre que la masse volumique des briques et de l'ordre de 1371 Kg/m3.

N°	$\boldsymbol{M(g)}$	$\boldsymbol{V\ (cm3)}$	$\boldsymbol{\rho\ (g/cm3)}$	$\boldsymbol{\rho moy\ \ (Kg/m3)}$
01	1825,2	1331	1,371	1371
02	1828,4	1331	1,373	
03	1824,7	1331	1,370	

Tableau II.2 caractéristiques physiques des briques perforés.

c. Caractéristiques mécaniques *:*

Afin de caractériser la contrainte ultime en compression, les briques sont testées dans les trois directions caractéristiques (voir **figure II.3**)

Des essais de résistance à la compression ont été réalisés sur trois blocs jusqu'à la rupture. La résistance en Mpa est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_n} \qquad \text{(II.2)}$$

Où:

σb : résistance à la compression en (Mpa).

Fb : charge maximale de rupture en (N).

Sn : section nette moyenne de la brique en (mm^2).

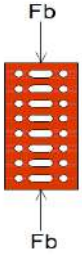
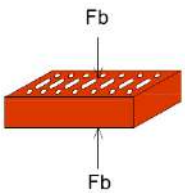
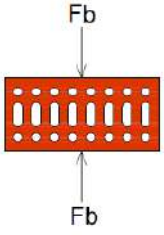


Figure II.3: Les briques en compression selon les trois directions.



Figure II.4: Les briques en flexion selon les deux directions

La résistance à la compression en fonction de la disposition des briques est donnée dans le tableau (II.3).

Direction 1	Direction 2	Direction 3
		
6.20(Mpa)	27.74MPa)	5.64(Mpa)

II.3.5 Le sable (définie selon la norme NA523-1990)

Un seul type de sable est utilisé au coure de cette étude est il s'agite d'un sable de Hassi Bah bah la wilaya de Djelfa, située à 242km à sud d'Alger.



Figure. II.5: sable utilisée.

II.3.5.1 Caractéristiques de sable :

Pour déterminer les caractéristiques de sable on a fait les essais suivants :

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

II.3.5.1 .1 Analyse granulométrique Norme NF P18 560

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

a).But de l'essai

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

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension
- En déduire le Module de finesse (MF) de sable

b).Principe de l'essai

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

c). Matériel nécessaire

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure (II.6)). La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.



Figure (II.6) : L'essai d'analyse granulométrique

Tableau (II.4) : Résultats d'analyse granulométrique du sable de dune

Tamis(mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5,00	0	0	100
2,5	0	0	100
1,25	0	0	100
0,630	0.8	0.08	99.96
0,315	34.3	3.43	96.57
0,160	908.4	90.84	9.16
0,080	996.6	99.66	0.34

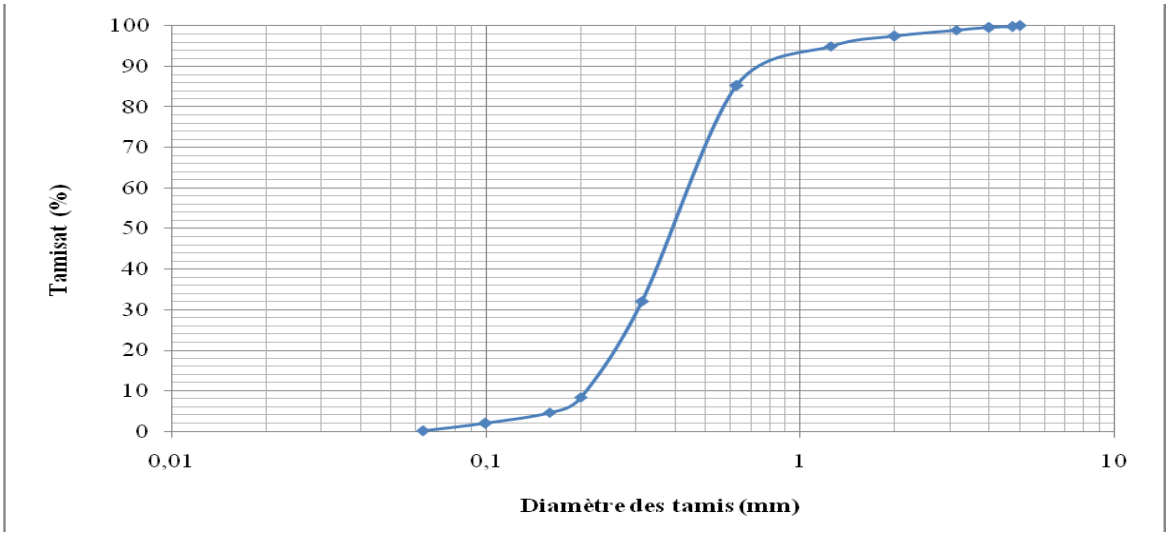


Figure II.7.. Courbe granulométrique de sable Fin.

II .3.5.1.2 Modules de finesse Norme NF P18 304

C'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0.16 ,0.315, 0.63 ,1.25, 2.5, 5 mm).

$$\frac{\sum \%refus}{100}$$

Lorsque MF est comprise entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier, Il donnera des bétons résistants mais moins maniables [23].

Pour les sables utilisés dans notre étude on a trouvé la valeur suivante : **MF** = 1,94

Alor : 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins

II .3.5.1.3Equivalent de sable Norme NF P 18 -598

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

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 :

$$ES = \overline{\frac{h2}{h1} * 100} \qquad \text{II.3}$$

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 II.8: Essai d'équivalent de sable (sable fin)

Tableau (II.5): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

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

Tableau (II.6) : Résultats d'essai de l'équivalent de sable

	Equivalent de sable		**Limite de valeur**	**Observation**
sable de dune	E.S.P %	70.12	E.S.P ***70%≤ES<80%***	Sable propre
	E.S.V %	76.15	E.S.V ***75%≤ES<85%***	

Selon la norme ***NF P18 598,*** ce sable propre et acceptable pour la composition de béton et de mortier.

II .3.5.1.4 Masses volumiques:

a). Masse volumique absolue : norme NFP18-301

Cet essai est régie par la ***norme NF P18-301***, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains .

- **. Mode opératoire d'essai**
  - ❖ Mettre dans une éprouvette un volume V1 d'eau.
  - ❖ Peser une masse M du corps et l'introduire dans l'éprouvette.
  - ❖ Lire de nouveau le volume V2.
  - ❖ Le volume absolu est V = V2 – V1

$$MV\ abs = \frac{M_S}{V2 - V1} \quad \text{..... II.4}$$

MV abs: Masse volumique absolue kg/m3

M_s : Masse des grains solides

V_1: Volume de l'eau

V_2: Volume total (grains + vide).



Figure II.9: Essai de masse volumique de sable fin

b)..Masse volumique apparente

Cet essai est régie par la norme ***NF P18-554***, ***NP18-555***, ***EN P1097-3***, EN 1097-6; elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient [9-10]

ρ_a: Masse volumique apparente g/cm3

M : Masse totale de l'échantillon

V : Volume total de l'échantillon.

- **Mode opératoire de l'essai**

  Prendre l'échantillon dans les deux mains.

  ❖Verser l'échantillon toujours au centre du récipient, jusqu'a ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et Peser le contenue.

  ❖Calculer la masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$Mvapp = \frac{MT - M0}{V}$$

Avec :

M0: La masse du récipient de mesure vide.

MT: La masse du récipient avec l'échantillon.

V : le volume du récipient de mesure



Figure II.10 : essais Masse volumique apparente

Les résultats des essais de la masse volumique apparente Mvapp et la masse volumique absolue MVabs de sable sont enregistré dans le tableau :

Tableau (II.7) : Résultats de calcul de la masse volumique

	Masse volumique Apparent (g/cm^3)	Masse volumique Absolue (g/cm^3)
Sable de Hassi bah bah	**1.47**	**2,63**

II.4. Mortiers

Le mortier utilisé pour la construction des triplets correspond au dosage 1 : 1 :5 respectivement Ciment : chaux : sable (mortier bâtard) avec un rapport E / L = 0.50. Mortiers renforcés par des fibres en Acier ou bien Polypropylène: dans les deux types de mortier en a utilisé le mortier (1.1.5) et ajouté 1% de fibre par volume de mortier.

Tableau II.8: dosage de mortier bâtard.

Mortier bâtard	Ciment	Chaux	Sable
Type	**1**	**1**	5



Fgure II.11: formulation de mortier batard

- **Malaxage du mortier :**

Il faut malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur spécifié.

❖Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.

❖Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes).

❖Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.

❖ Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

❖ Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s



Figure (II.12) : Appareil de malaxage

a) Préparation des éprouvettes :

Des éprouvettes prismatiques de 4x4x16 cm3, en mortier bâtard et en mortier bâtard avec fibres sont confectionnées pour cette compagne d'essai. Pour les deux types de fibre le dosage en fibres est de 1% en volume. Ce choix, très souvent utilisé, est dicté par nombre d'auteurs pour éviter la formation de boules hérissées de fils (appelées parfois « oursins ») et avoir une bonne ouvrabilité (Beaudoin, 1982).

Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse est fermement fixée à la table à choc. On introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la truelle puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la truelle et serrée à nouveau Moule prismatique 40x40x160 mm

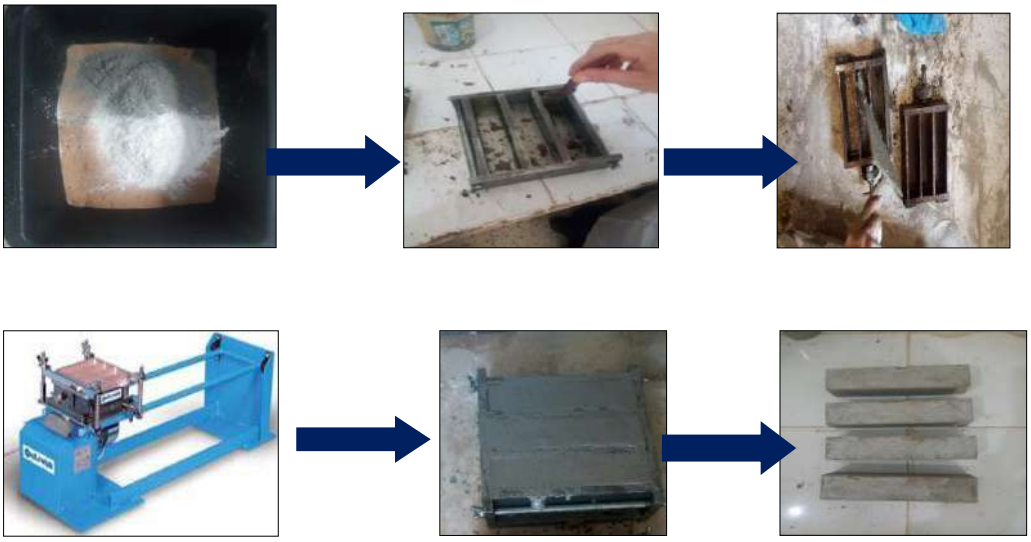


Figure (II.13) : Préparation des éprouvettes

b. Conservation des éprouvettes :

Après 24heures, les échantillons sont démoulés et conservés dans un bac d'eau pendant 28 jours (**figure II.13**)

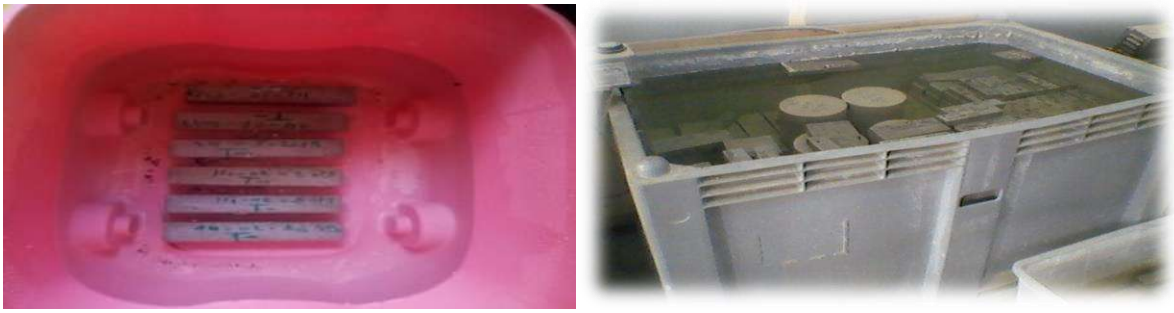


Figure II.14 : La conservation des éprouvettes prismatiques de dimensions 40x40x160 mm

II.4.1. Essai sur mortier

II.4.1. 1A L'état Frais

A. Essai De Maniabilité (Nf P18-452)

Cet essai est pour tester la maniabilité dynamique du mortier et aussi des 'assurer d'une proportion optimum des composantes du mortier (sable, eau, ciment ainsi que les relations ciment/sable et eau/ciment)

a) **Principe de l'essai**

Pour cet essai la consistance est déterminée par le temps d'écoulement pour la quelle le mortier s'écouler sous l'effet de la vibration.

b) **Equipement utilisé*:***

L'appareil utilisé et appelé maniabilité **Figure (II.15)**. Il consiste en un boitier parallélépipédique métallique de dimensions normalisés, posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible.

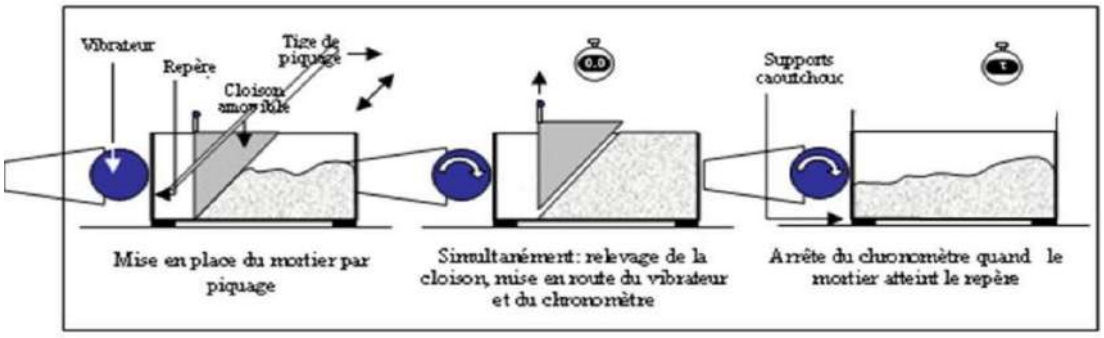


Figure (II.15) : Maniabiliméttre

c) **Procédure de l'essai**

Après la préparation du mortier avec des différents compositions et leur malaxage, on l'introduit dans la partie la plus grande du boitier qui limité par une cloison. Quand la cloison retirée le vibrateur déclenche et provoque un écoulement du mortier, et par un chronomètre on compte le temps pour la quelle le mortier arrive au niveau d'un trait repère sur la paroi opposée du boîtier (**figure II.15**).

Figure (II.16) : fonctionnement du Maniabilité. [22]



Le temps (t) d'écoulement de mortier pour s'écouler caractérise par sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où vient le nom de l'appareil) Comme illustré aux tableaux suivants:

Tableau (II.9) : Type de mortier selon le temps de maniabilité. [22]

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

Tableau (II.10) : Les résultats de la maniabilité acceptables

Composition	**E/C**	**Le temps (s)**
Mortier en Polypropylène	0.9	27
Mortier en Acier	0,55	25
Mortier Témoin	0.55	24

D'après les résultats présentés sur le tableau (**II.10),** on a remarqué que le pourcentage d'eau dans le mortier témoin était plus faible, par rapport aux mortiers qui contiennent 1% de fibre d'acier. En outre, le pourcentage d'eau reste constant dans le mortier qui contiennent 1% de fibre de polypropylène, par rapport aux mortiers témoin. Ce qui laisse dire que les fibres en acier n'absorbent pas de l'eau.

Les histogrammes de la **figure II.17** représentent la variation de la maniabilité en fonction de différents types de mortier.

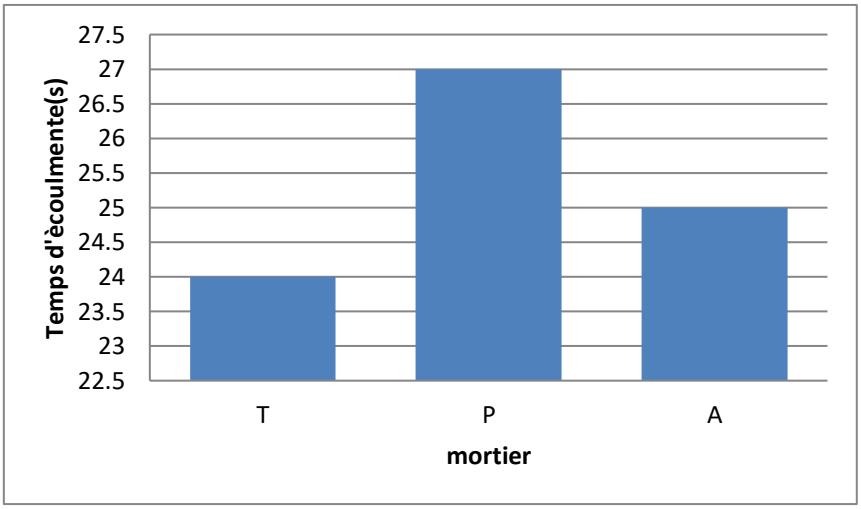


Figure II.17. Maniabilité de mortier

Avec : T : Mortier Témoin

P : Mortier renforcé par des fibres en acier

A : Mortier renforcé par des fibres polypropylène

II.4.1.2A L'état Durci

II.4.1.2.1Essais de résistances mécaniques :

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge Concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé (type banc d'essai Didactique), de charge maximum 160 kN Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion sont testées en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40x40 mm

a) Resistance a la flexion :

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur **la figure (II.18)**

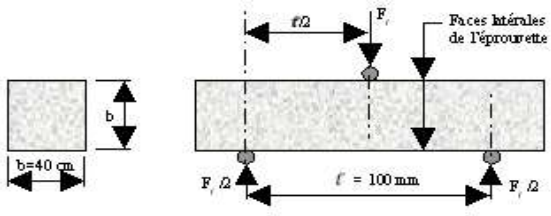


Figure II.18 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (VENUAT, 1989).

Si Ff est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $Ffl/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inferieure de l'éprouvette est :

$$Rf = \frac{1.5\ Ff.l}{b^3} \qquad \text{(II.5)}$$

Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l, Si F_f est exprimée en (N), cette résistance sera exprimée en (Mpa)



Figure II.19 : L'essai de résistance à la flexion

***b)* Résistance à la compression**

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront rompus en Compression comme indique sur la **figure II.20**. Si F_C est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$Rc = \frac{Fc}{b^2} \qquad \text{(II.6)}$$

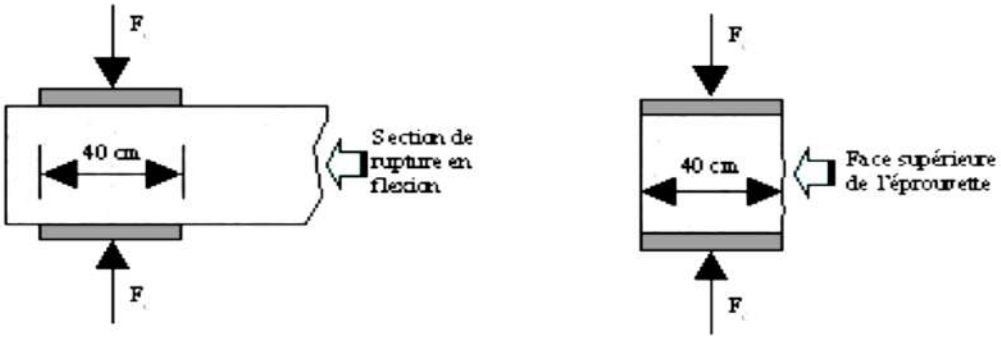


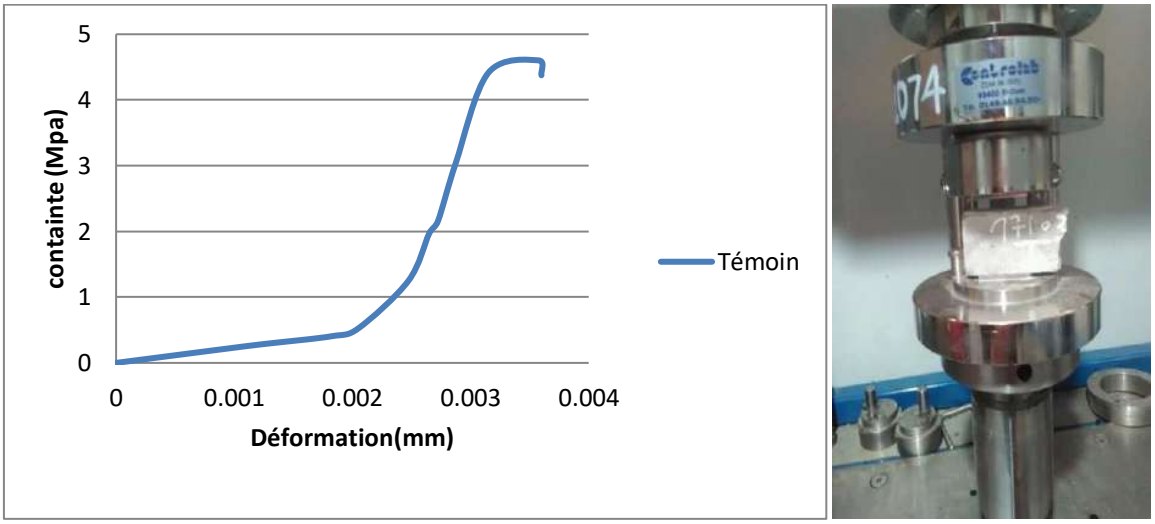
Figure II.19: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (Michael, 1989).

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si FC est exprimée en newton, cette résistance exprimée en MPa vaut :

$$Rc = \frac{Fc}{1600} \qquad (7)$$



Figure II.21: L'essai de résistance à la compression

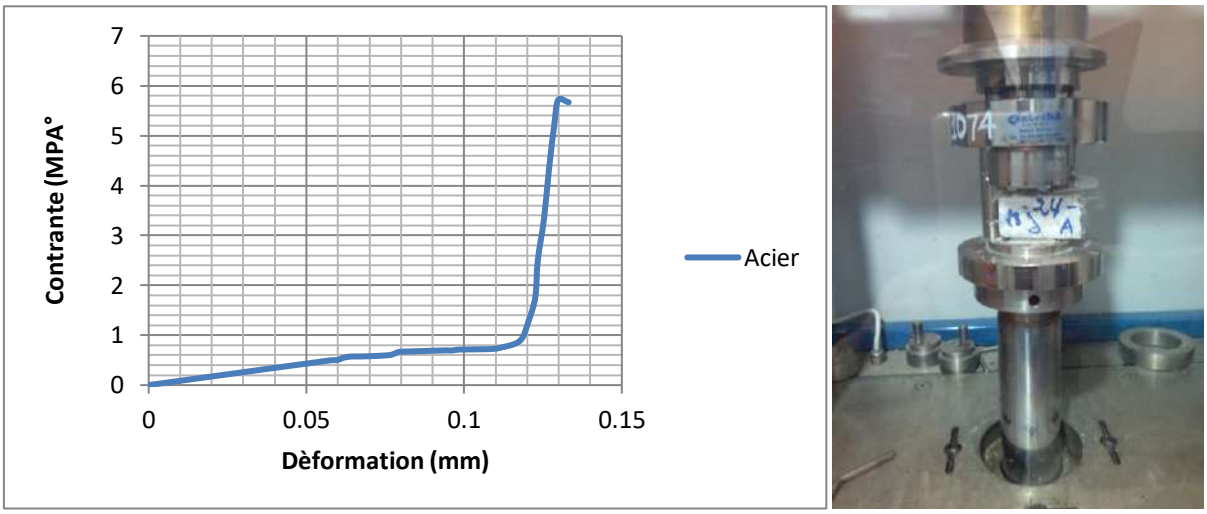


(a) (b)

Figure II.22 Compression de mortier témoin : (a) courbe de contrainte-déformation(b) mode de rupture

Tableau II.12 : caractéristique mécanique mortier témoin

N° d'éprouvette	Force maximale en flexion (kN)	σf (Mpa)	Force maximale en compression (KN)	σc (Mpa)
1	**0.75**	**1.75**	**7.73**	**4.831**
2	**0.53**	**1.24**	**7.02**	**4.387**
Moyenne	**0.64**	**1.5**	**7.36**	**4.6**

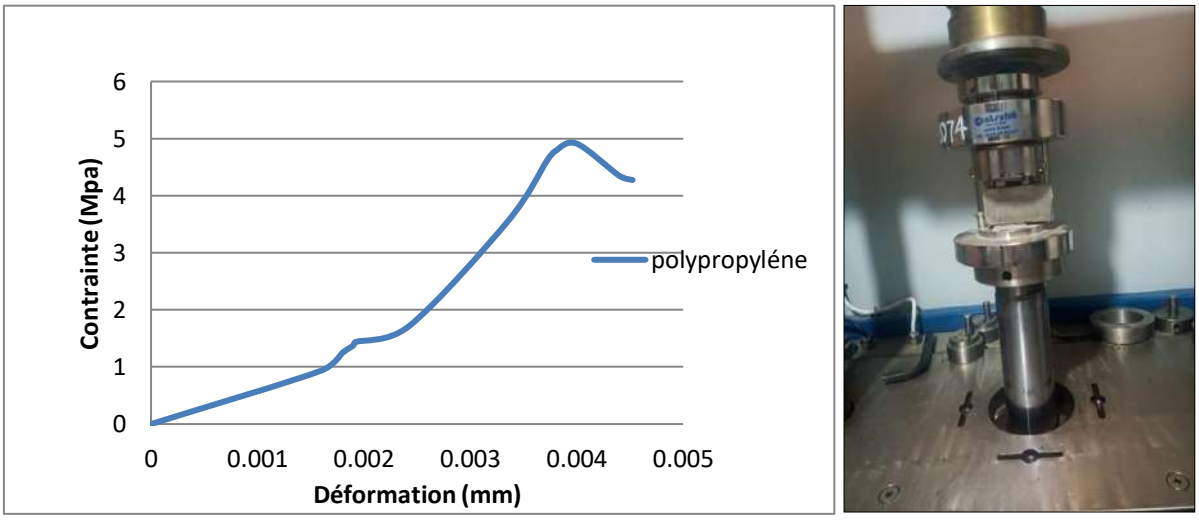


(a) (b)

Figure II.23 Compression de mortier fibré (acier) : (a) courbe de Contrainte-déformation(b) mode de rupture

Tableau II.13: caractéristique mécanique mortier fibré (Acier).

N° d'éprouvette	Force maximale en flexion (N)	σf (Mpa)	Force maximale en compression (KN)	σc (Mpa)
1	**1.41**	**3.30**	**9.03**	**5.64**
2	**1.92**	**4.5**	**9.22**	**5.76**
Moyenne	**1.66**	**3.89**	**9.12**	**5.7**



(a) (b)

Figure II.24 Compression de mortier fibré (polypropylène) : (a) courbe de Contrainte-déformation: (b) mode de rupture

Tableau II.14 :caractéristique mécanique mortier fibré (polypropylène)

N° d'éprouvette	Force maximale en flexion (kN)	σf (Mpa)	Force maximale en compression (KN)	σc (Mpa)
1	**0.98**	**2.29**	**7.86**	**4.91**
2	**0.95**	**2.22**	**6.67**	**4.16**
Moyenne	**0.96**	**2.25**	**7.26**	**4.53**

II.4.1.2.2Essais mécaniques sur le mortier de référence

- **Résistance à la compression** :

La figure 1 montre que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression et que la résistance n ' est que légèrement affectée comme l ' ont montré un certain nombre d ' études (Balaguri 1994), (Rossi, 1996). D'autres auteurs sont en désaccord et parlent soit d'une augmentation de 15 à 20 % ou quelques fois d'une légère diminution (Gopalaratnam et al, 1985).

Les fibres ne jouent un rôle significatif qu'après la rupture de la matrice cimentaire : l'énergie dissipée, caractérisée par l'aire sous la courbe, est très nettement augmentée .Il est important de remarquer que le module d'élasticité reste pratiquement inchangé

- **Résistance à la traction :**

L'ajout des fibres dans le mortier a des conséquences plus marquées sur la résistance en traction (Tableau II.11). On remarque que, avec l'addition de 1% de fibres d'acier, la résistance à la flexion augmente de 157.14% par rapport à celle du mortier non renforcé. Les résultats font également apparaître un comportement ductile du mortier fibré. La présence de fibres ductiles dans la matrice modifie considérablement le comportement fragile en limitant le phénomène de propagation rapide et instable de la rupture.

Les résultats obtenus sont représentés dans le **Tableau II.11**

Tableau II.11: Résultats expérimentale de la résistance à la traction en flexion et de compression des prismes utilisé dans la construction des triplets

Age [jours]	Mortier	Force maximale en flexion (KN)	Résistance a la flexion(Mpa)	Force maximale compréssion(KN)	Résistance a la compréssion (Mpa)
7j	Témoin	0.64	1.5	3.78	2.36
	Mortier fibré par Acier	1.3	3.04	6.85	4.28
	Mortier fibré par Polypropylène	0.8	1.87	5.72	3.57
28j	Témoin	0.75	1.75	7.73	4.83
	Mortier fibré par Acier	1.92	4.5	9.22	5.76
	Mortier fibré par Polypropylène	0.98	2.29	7.86	4.91

- **Remarque :**

Le mortier utilisé est un mortier batard est un mortier moins résistant que les mortiers en ciment et celle est due à l'ajoute de la chaux qui a fait chuter les résistances.

II.4.2.2.3 Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques

Le contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle non destructif permettant la détection de défaut à l'intérieur d'un matériau.

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission et la réflexion d'onde de type ultrasons à l'intérieur d'un matériau. Les ondes utilisées peuvent être libres (de compression ou de cisaillement) ou guidées (de surface ou de plaque).

Il est destiné surtout pour tester homogénéité du mortier car les résultats dépendent de la formulation de mortier de la densité, de la porosité, de l'humidité.

a).But de l'essai :

- Mesure la vitesse de propagation d'ondes longitudinales a travers un élément en mortier
- Déterminer Le module élasticité dynamique

b). Principe de l'essai :

Une onde ultrasonore est émise par un transducteur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans le matériau. Il existe des méthodes par contact. Dans le cas de la méthode par contact, il est nécessaire d'ajouter un couplant (eau ou gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes.



Figure (II.25). Essai Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau **II.15**. Suivant :

Mortier	Témoin	Polypropylène	Acier
Vitesse (m/s)	2440.88	2112.21	2029.17
Temps (µs)	131.1	151.5	157.7

La **figure II.25.** Représente la variation de la vitesse de propagation de son en fonction de différents Types de mortier

.

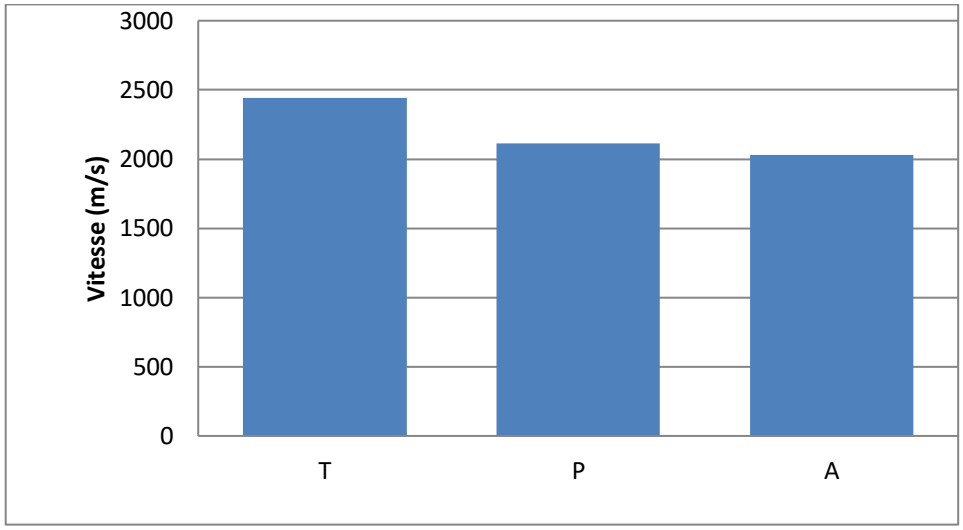


Figure II.26. Vitesse e propagation de son dans le mortier

Avec : T : Mortier Témoin

P : Mortier renforcé par des fibres en acier

A : Mortier renforcé par des fibres polypropylène

Dans La figure(II.25); nous voyons que la vitesse de propagation d'ondes pour les deux types de mortier renforcé (acier, polypropylène) sont aussi faible par rapport au mortier témoin avec des différences en pourcent de 16.87%, 13.47%

II.4.2.2.4Conductivité thermique

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée λ, elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre. Elle s'exprime en W/m°C. Cette valeur permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera

isolant. Dans notre cas la conductivité thermiques des différents bétons a été mesurée à l'aide d'un **CT Mètre** conformément la norme **NF EN 993** sur des échantillons de 4*4*16 cm.



(a)CT Mètre



(b) éprouvette témoin



(c) Eprouvette acier



(d) éprouvette polypropylène

FigureII.27: essais de conductivité thermique

Les résultats obtenus sont inscrits dans **le tableau II.16**suivant :

	Conductivité thermique(W/m.k)	**Chaleur spécifique (Kg/m3.k)**	**Coefficient d'adjustement (%)**	**Température de départ(C°)**	**Variation max de température**
Témoin	**1.929**	**3048**	**2.2**	**21.10**	**0.89**
Polypropylène	**1.760**	**3001**	**3.7**	**20.82**	**0.94**
Acier	**2.190**	**3177**	**6.5**	**21.45**	**0.81**

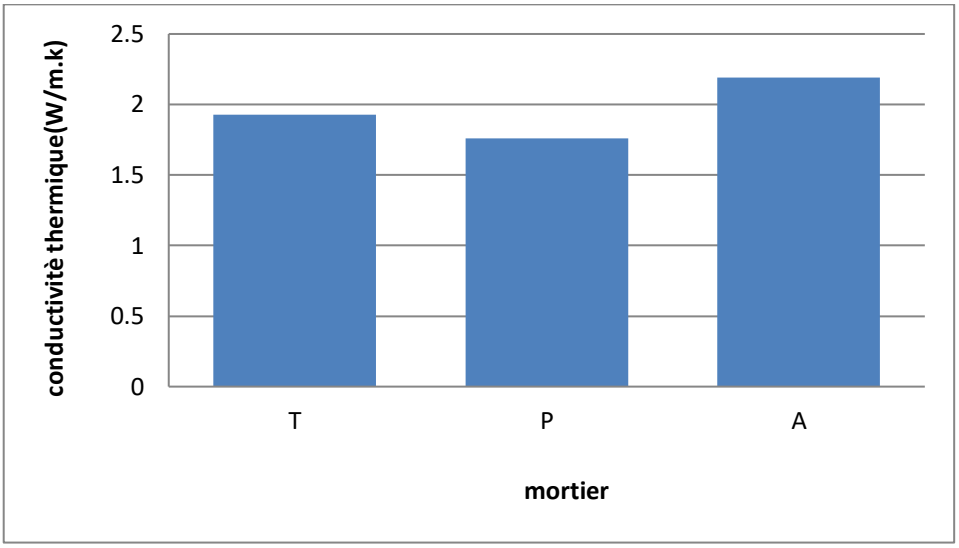


Figure II.28. Conductivité thermique de mortier

Avec : T : Mortier Témoin

P : Mortier renforcé par des fibres en acier

A : Mortier renforcé par des fibres polypropylène

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques expérimentales que nous avons utilisées au laboratoire pour la réalisation du programme expérimental de notre recherche qui a été élaboré selon les normes.

Nous avons montré que l'introduction de fibres d'acier permet un gain de résistance en compression (augmentation environ **19.25%** par rapport au mortier témoin) et un gain en résistance traction par flexion (augmentation environ **157.14%** par rapport au mortier témoin, mais L'introduction de **1%** fibre propylène permet un gain de résistance en compression (augmentation environ **1.65%** par rapport au mortier témoin) et un gain en résistance traction par flexion (augmentation environ **30.85%** par rapport au mortier témoin Comparativement aux mortiers de référence et les mortiers renforcés par des fibres d'acier et Polypropylène; les mortiers renforcés par des fibres de polypropylènes donnent une résistance mécanique à la compression et flexion plus élevée.

CHAPITRE :03

III.1. Introduction :

Le but de cette étude est l'amélioration du comportement des murs de maçonnerie en briques perforée par un renforcement avec un couche de ciment renforcé par des matériau composite, Pour cet objectif, des expériences sur des triplets en cisaillement ont été effectuées pour des triplets non renforcer et renforcées. Les triplets ont été enduits à l'aide d'une couche de mortiers renforcés par 1 % de fibres de polypropylène et de fibres en d'acier. Les résultats des tests des deux types de spécimens ont été comparés les uns aux autres en termes de relation contrainte-déformation et de résistance au cisaillement.

III.2 Confection Des Triplet

A. Matériel utilisé

Le matériel utilisé pour la confection des triplets est :

- Truelles
- Auge
- Fil a plomb
- Niveau
- Taloche.

B. Préparation de triplet

Dans cette étude, 36 échantillons de triplet ont été construit avec de brique perforé de dimensions de 220x110x55 mm, Quatre spécimen sont été considérés pour chaque type de mortier de plâtre utilisé, le renforcement sont mis en œuvre dans deux formes : renforcement au niveaux du joint et le renforcement sous forme une couche d'enduit applique sur le triplet, Les spécimens renforcés ont été enduits à l'aide d'une couche de 1cm de mortier fibré par les deux types de fibre (polypropylène, fibres d'acier).



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Figure III.1. Préparation de triplet (1.1.5).

La même méthode Nous mettons trois briques identiques. Voir la figure (III.2)



(a) (b) (c)

Figure III.2. Préparation de triplet (1.1.5).

C. Cure et stockage des triplets

Après confection, les triplets seront stockés pour une durée de 28 jours.



Figure III.3 Cure et stockage des triplets.

D.Façonnage

Pour mettre en œuvre un enduit, il faut tout d'abord brosser les triplets pour enlever toutes les poussières pouvant nuire à l'adhérence de la couche de mortier fibré.



Figure III.4 Triplet en brique perforé

III.3 Essai sur les triplets

III.3.1. Essai sur les triplets a la compression

Dans ce travail, divers tests ont été effectués sur des spécimens pour évaluer et améliorer le comportement de la maçonnerie en brique en compression tel que la résistance à la compression d'avec et sans mortier fibré.



Figure III.5 : essais compression sur triplet.

Tableau III .1 :résultat essais de compression

Triplets	**Force maximal (KN)**	**Contrainte maximal (Mpa)**
Témoin	100.5	4.15
Acier	172	7.10
Polypropylène	154	6.36

III.3.2. Essai sur les triplets au cisaillement

Toujours dans le but de décrire le comportement des maçonneries à l'échelle locale, on s'est Intéressé cette fois-ci à déterminer la réponse des prismes de maçonnerie composés de triplets en briques perforé **(figureIII.6**). Les assemblages sont connectés par des joints de

mortier d'une épaisseur de 10mm. Pour ces essais de cisaillements nous avons procédé de la même manière que précédemment.

Les différents échantillons sont préparés dans les mêmes conditions évoquées plus haut. Les mêmes équipements sont également utilisés, nous avons fixé un capteur extenso métrique

. Les résultats obtenus nous ont conduit à tracer les différentes courbes concernant l'évolution des déformation en fonction des contraintes de cisaillement calculées d'après l'équation (III.1) , Tous les résultats sur les triplets en brique perforé renforcé et non renforcé sont présentés .

III.3.2.1 Cas de triplet de joint non renforcé :

La figure (III.6) montre l'essai de cisaillement que nous avons effectué sur une série de quatre Triplets en briques perforé. Les résultats trouvés sur ces quatre cas testés (0Mpa,0.2Mpa,0.6Mpa,1Mpa) sont donnés sur les graphes qui est montré dans les figures(III 7.8.9.10) . Ces courbes représentent les déformation relatifs en fonction de la contrainte de cisaillement notée par τ . La contrainte de cisaillement est déterminée de la manière suivante :

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot a} \qquad \text{(III.1)}$$

Dans ce cas de figure (les triplets) nous avons deux surfaces cisaillées, c'est pour cette raison que nous avons divisé la force F appliquée par 2A.



FigureIII.6: Essai de cisaillement sur un assemblage de triplet en briques perforé

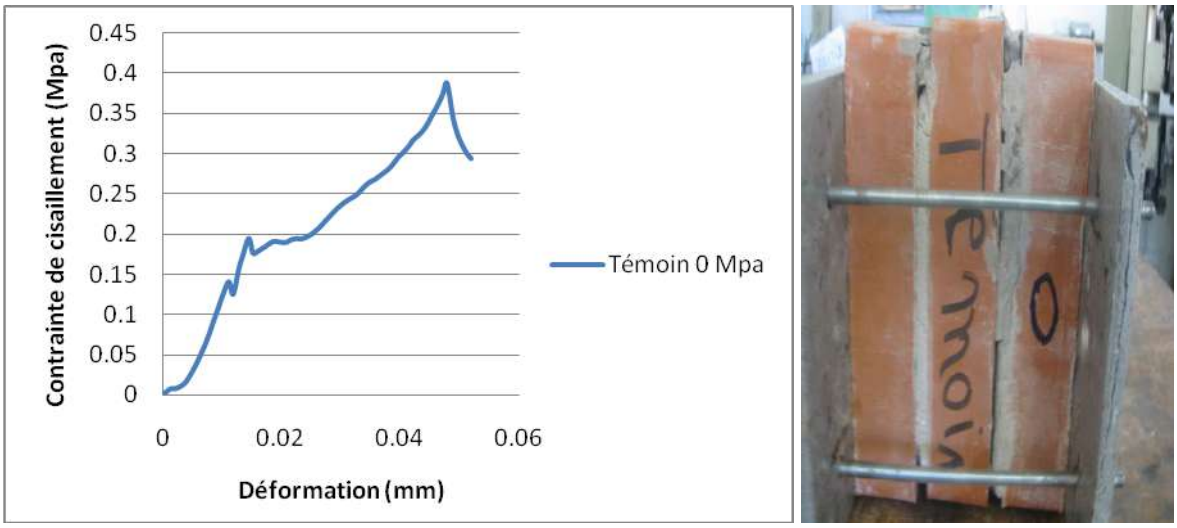
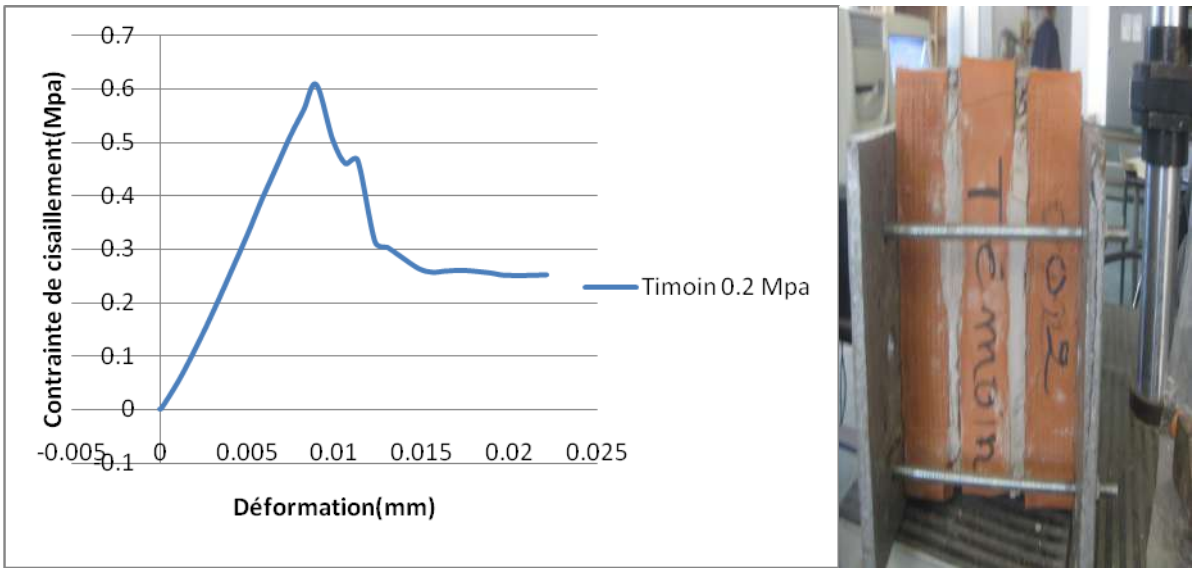
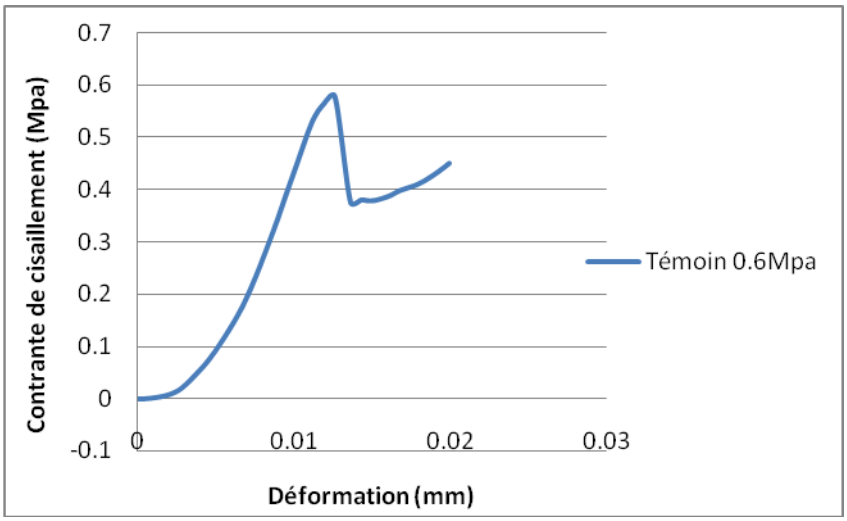


Figure III.7: Essai de cisaillement sur un triplet en brique perforé avec une contrainte de pré compression de (0Mpa)



FigureIII.8 : Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé avec une contrainte de pré compression de (0.2Mpa)





FigureIII.9 Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé avec une contrainte de pré compression de (0.6 Mpa)

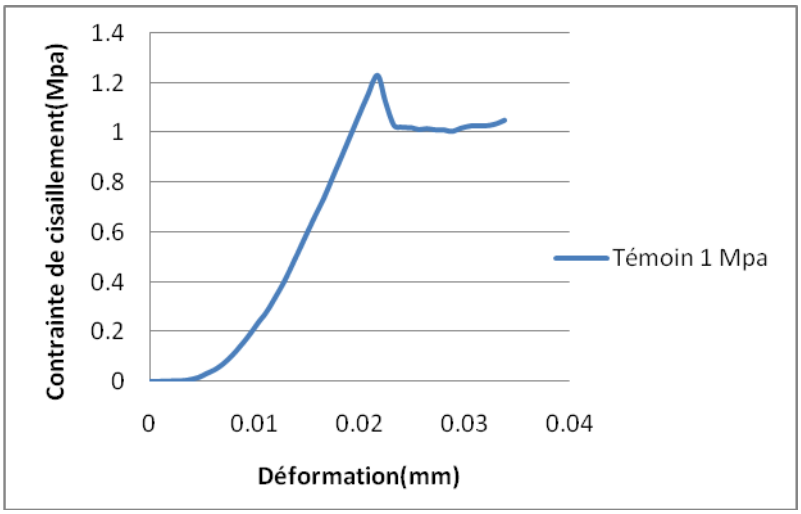
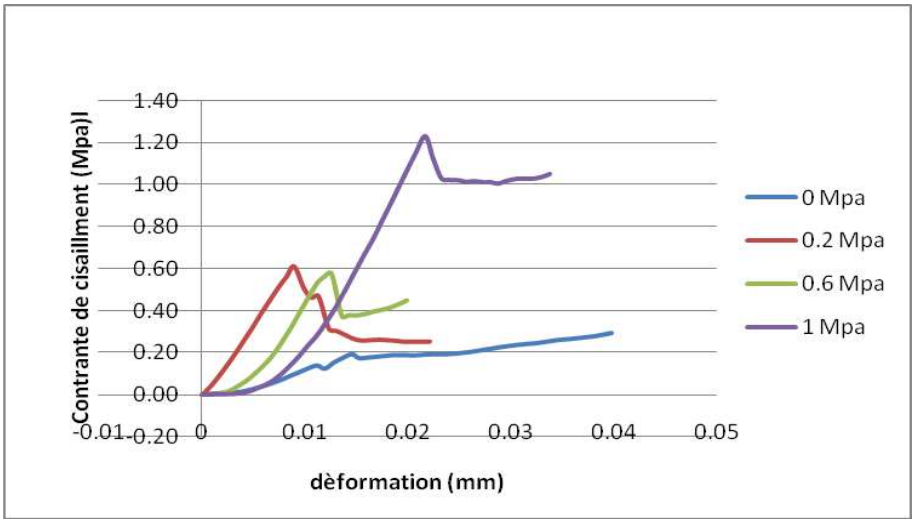




Figure III.10: Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé avec une contrainte de pré compression de (1 Mpa)



FigureIII.11 essais de cisaillement sur les triplets en brique perforé avec différentes valeurs de la contrainte de pré compression

- **Mode de rupture :**

Nous tenons à présenter les différents modes de rupture obtenus sur les quatre triplets testés qui sont composés de briques perforé, La figures **(III.12)** correspondent à l'essai sur les triplets, (0Mpa,0.2Mpa,0.6MPa ,1Mpa) respectivement**.**



FigureIII.12 : Mode de rupture de triplet

- **Commentaire :**

Le comportement mécanique observé sur les différents triplets à une résistance au cisaillement maximal de1.23 MPa correspondant à une force maximale de 59.81KN.

Les courbes de déformation relative en fonction de la contrainte de cisaillement (figure III.11) montrent également des différences importantes sur la valeur de la contrainte limite de rupture.

,nous pouvons distinguer un type de fissure sur sur les qautres triplets . Les fissures sont développées au niveau des interfaces brique-mortier (figures III.12)

III.3.2.2 Cas de triplet renforce au niveau du joint :

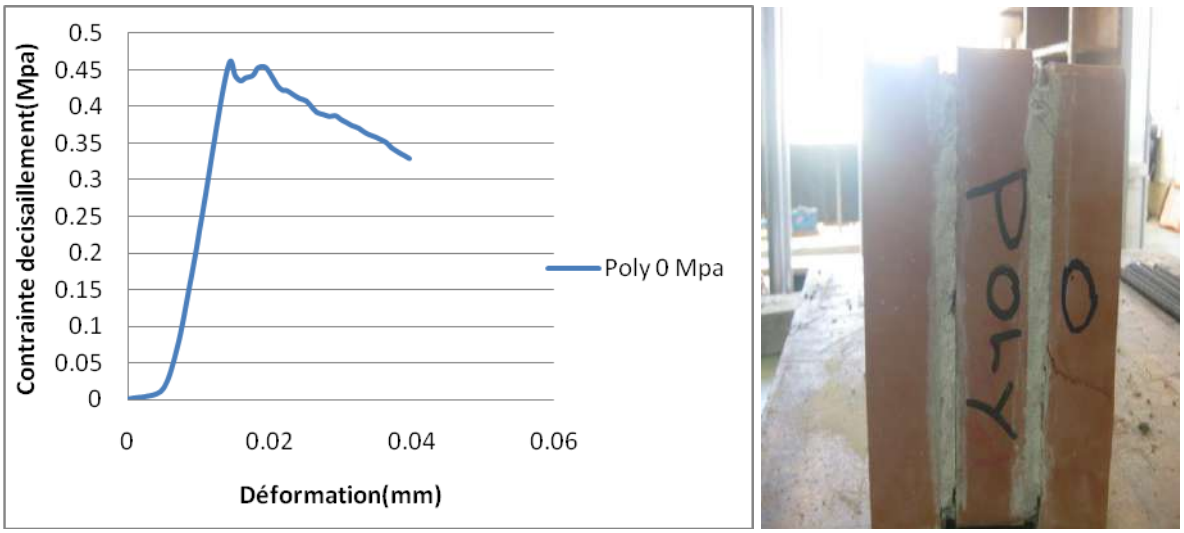


Figure III.13: Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de pré compression de 0 Mpa)

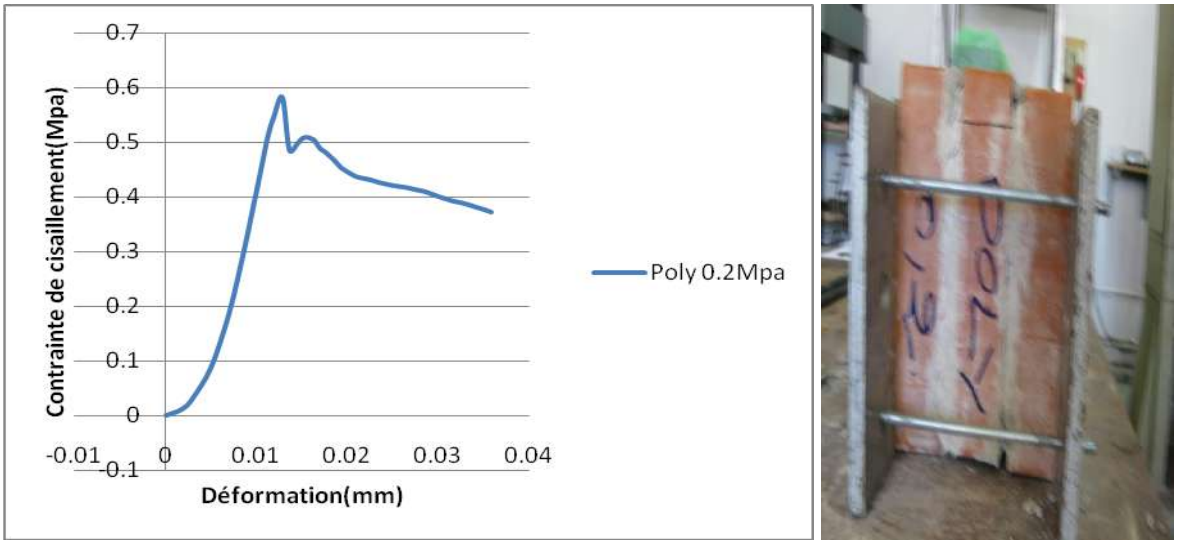


Figure III.14 Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de pré compression de 0,2 Mpa)

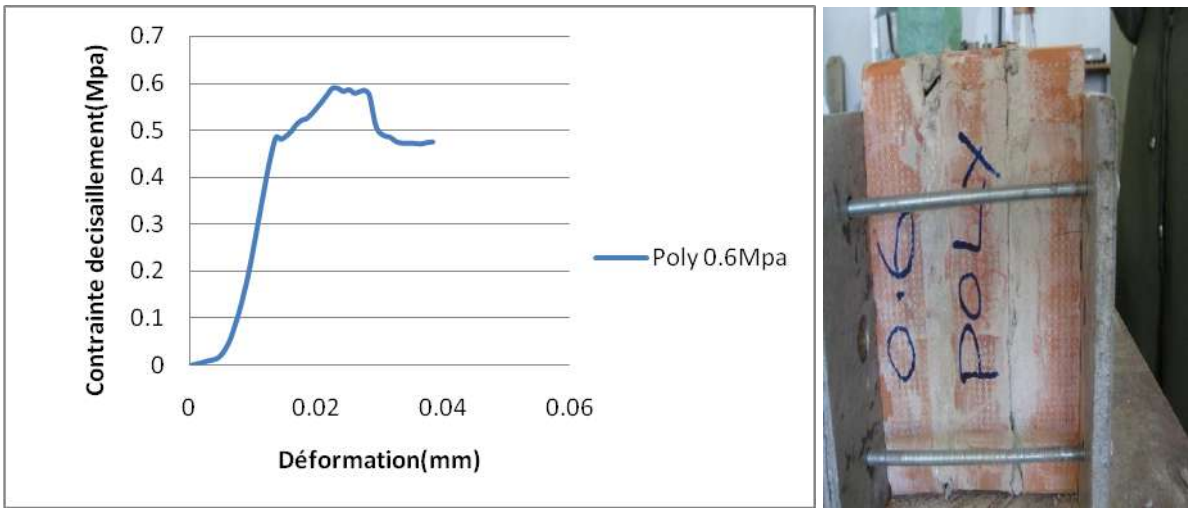
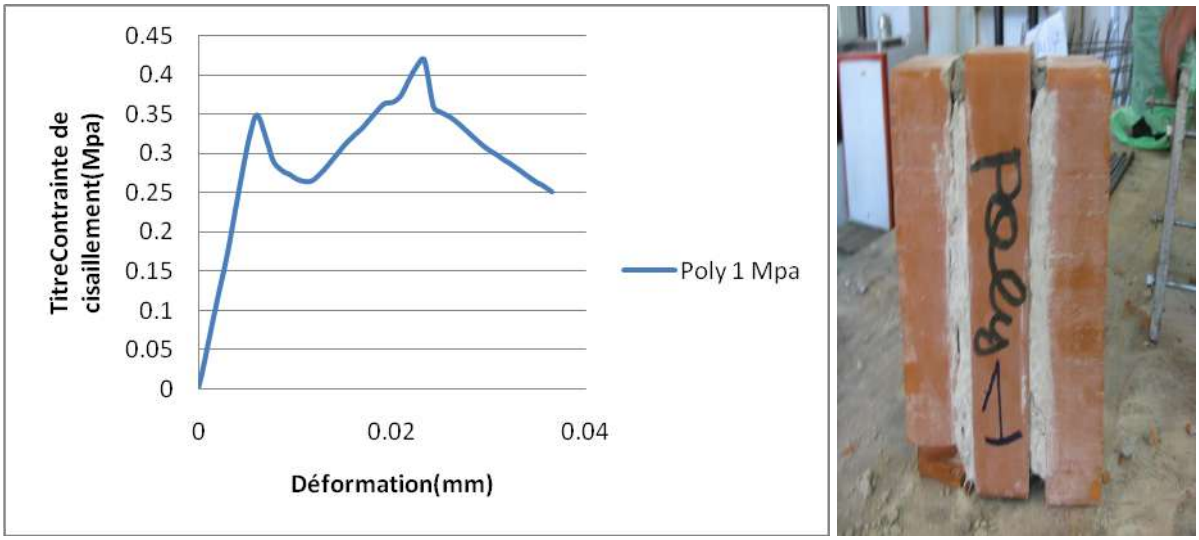


Figure III.15: Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de precompression de 0,6 Mpa)



FigureIII.16 : Essai de cisaillement sur le triplet (mortier du joint renforce par le Polypropylène a une contrainte de pré compression de 1 Mpa)

Les figures (III.16 ,III.15 ,III.14 , III.13)montre l'essai de cisaillement que nous avons effectué sur une série de quatre triplets de joint renforcé par les fibres de polypropylène. Les résultats trouvés sur ces quatre cas testés(0Mpa,0.2Mpa,0.6Mpa,1Mpa) sont regroupés sur le même graphe qui est montré par la figure(III.17) Ces courbes représentent les déformations relatives en fonction de la contrainte de cisaillement.

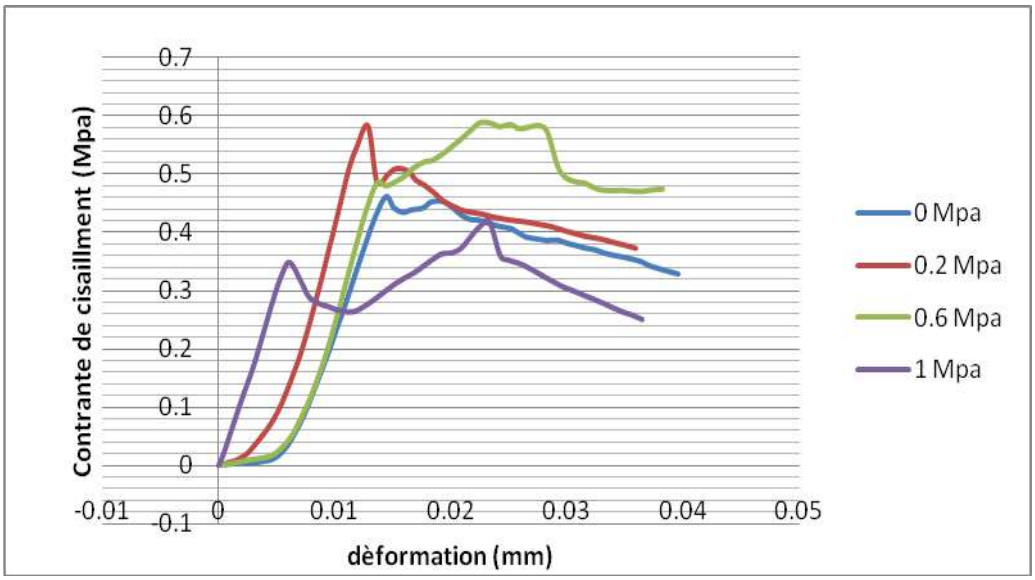


Figure III.17essais de cisaillement sur un assemblage de triplet en brique perforé de joint renforcé par les fibres polypropylène

- **Mode de rupture**

Nous tenons à présenter les différents modes de rupture obtenus sur les quatre triplets testés, La figures (III.18)correspondent à l'essai sur les triplets, (0Mpa,0.2Mpa,0.6MPa ,1Mpa) respectivement



FigureIII.18: mode de rupture des triplets.

➢ **Commentaire :**

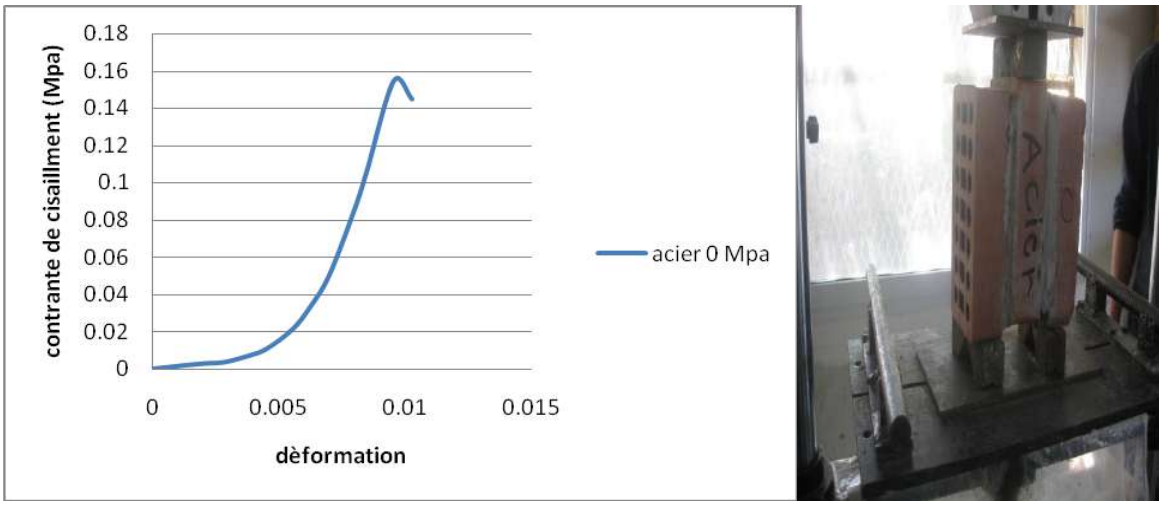
Le comportement mécanique observé sur les différents triplets renforce par les fibres de polypropylène au niveau du joint a une résistance au cisaillement maximal de **0.58MPa** correspondant à une force maximale de **28.52KN** .

Les courbes de déformation relatifs en fonction de la contrainte de cisaillement (**figure III.17)**

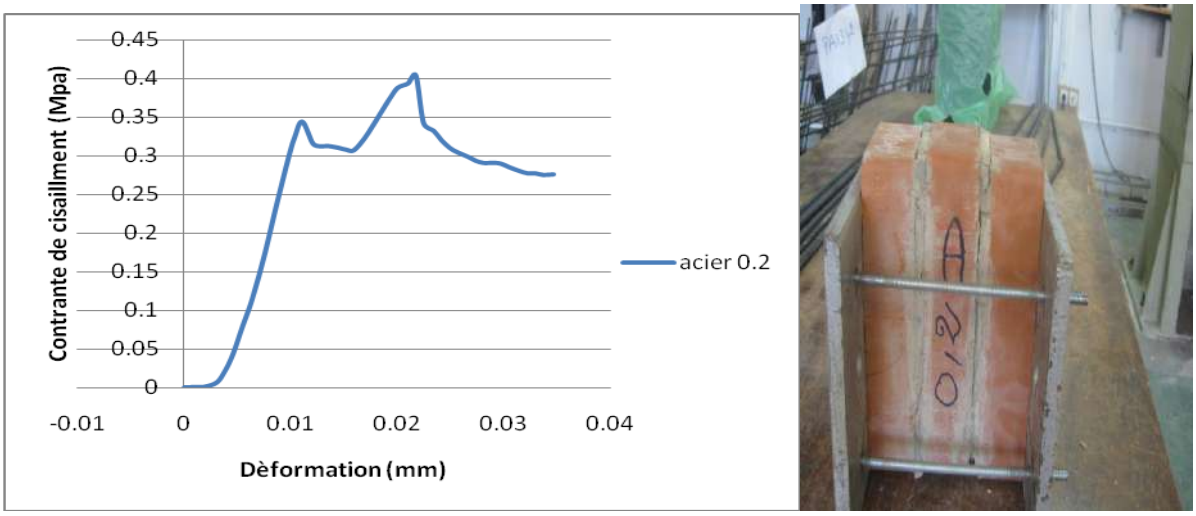
montrent également des différences importantes sur la valeur de la contrainte limite de rupture.

La dispersion des résultats obtenus sur les mêmes types de prismes, comme il a été montré par les courbes ci-dessus, conduit à des modes de ruptures variable .

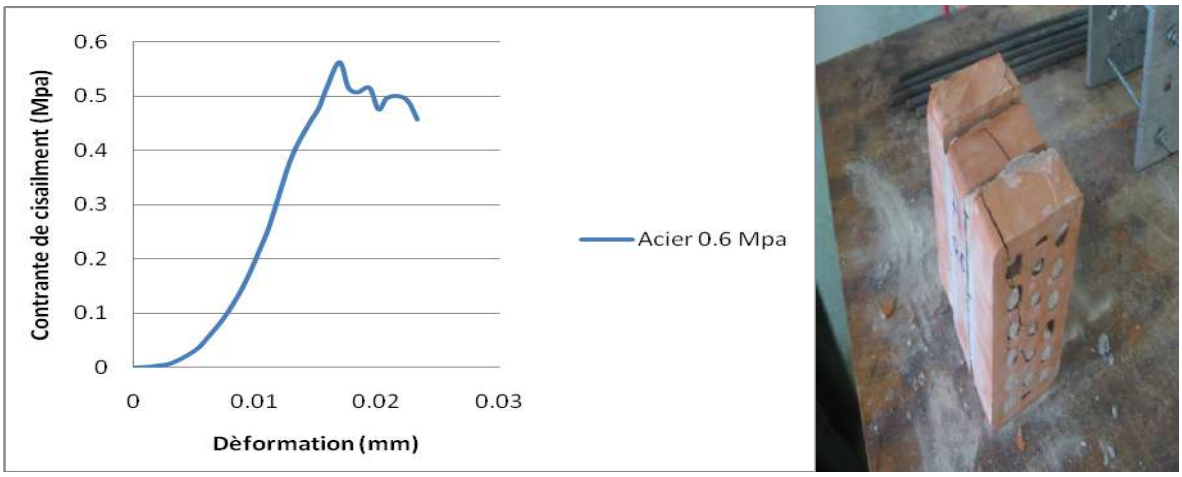
Cependant, nous pouvons distinguer deux types de fissure sur les quatre triplets. Les fissures sont développées au niveau des interfaces brique-mortier et fissure par cisaillement pur au niveau du joint de mortier (**Figures III.18**)



FigureIII.19: Essai de cisaillement sur le triplet renforce au niveau du joint par les fibres en acier (pré compression de 0 Mpa)



FigureIII.20 Essai de cisaillement sur le triplet en brique perforé (Acier 0.2 Mpa)



FigureIII.21 : **:** Essai de cisaillement sur le triplet renforce au niveau du joint par les fibres en acier (pré compression de 0,6 Mpa)

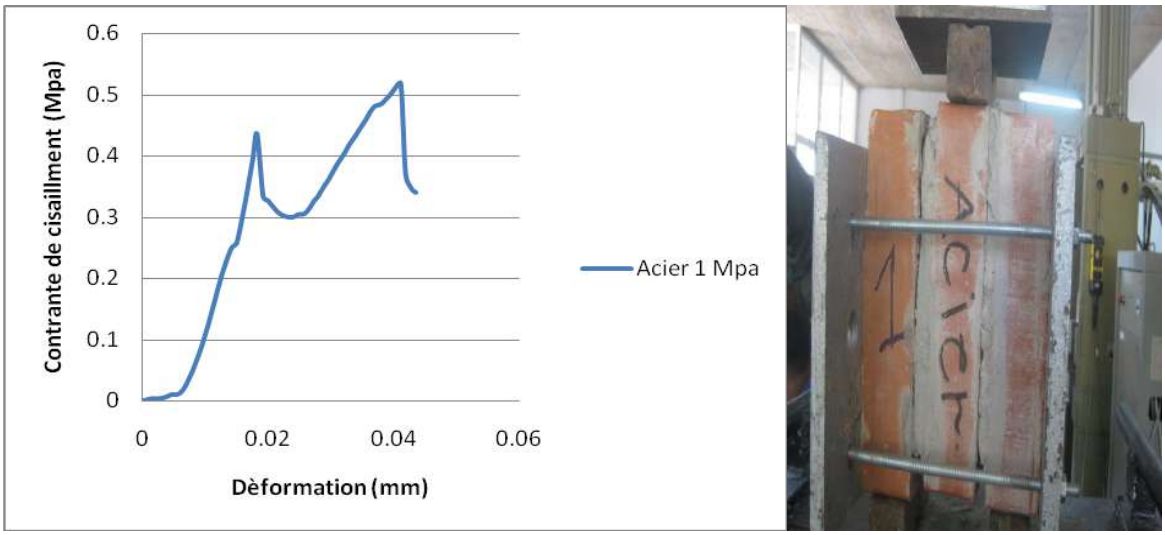


Figure III. 22 : Essai de cisaillement sur le triplet renforce au niveau du joint par les fibres en acier (pré compression de 1 Mpa)

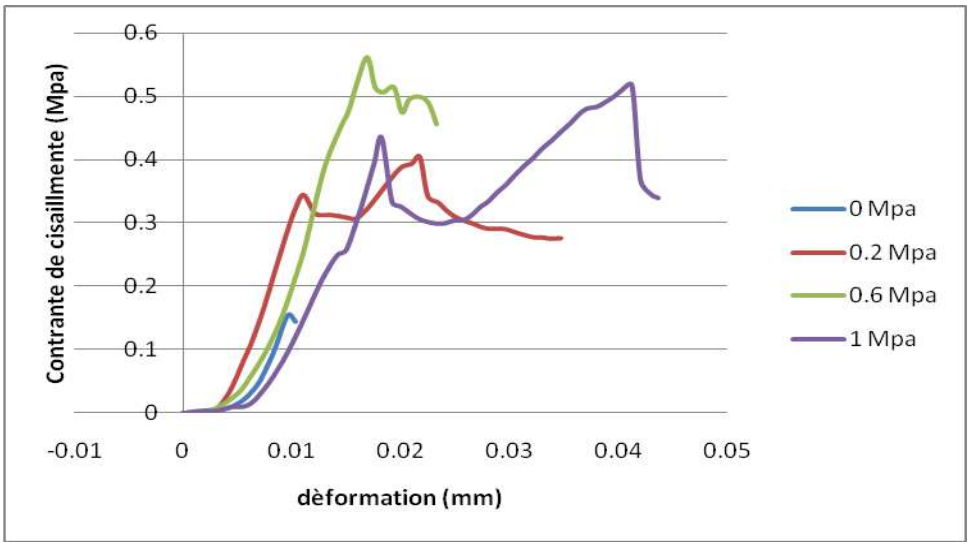


Figure III.23 essais de cisaillement sur un assemblage de triplet en brique perforé de joint renforcé par les fibres d'acier.

- **Mode de rupture**



FigureIII.24 : Mode de rupture

- **Commentaire :**

Le comportement mécanique observé sur les différents triplets de joint renforcé(acier) a une résistance au cisaillement maximal de **0.57MPa** correspondant à une force maximale de **27.48 KN** Le module de cisaillement est de **19 MPa**, calculé à 30% de la contrainte maximale.

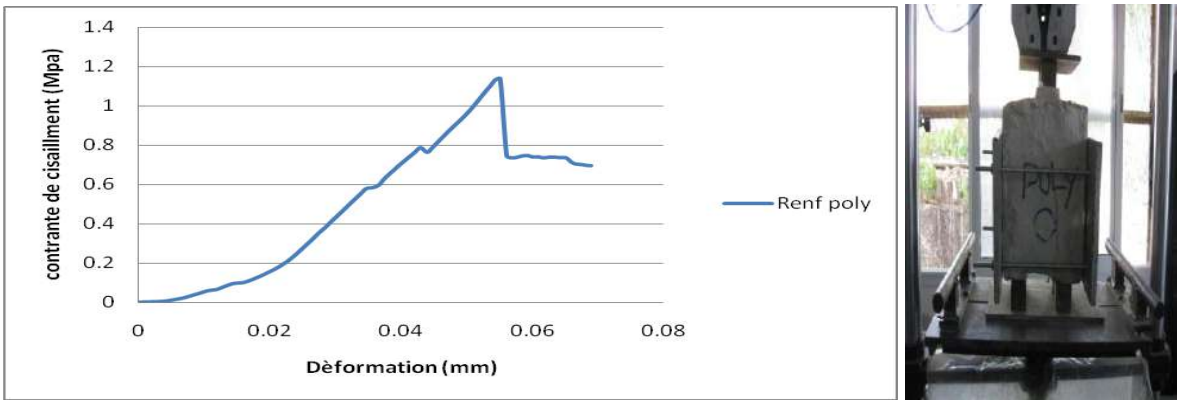
Les courbes de déformation relatifs en fonction de la contrainte de cisaillement (**III.23**)

montrent également des différences importantes sur la valeur de la contrainte limite de rupture.

nous pouvons distinguer les mêmes types de fissure sur les quatre triplets. (**figures III.24).**

III.3.2.3.Cas de triplet renforcé par une couche de mortier fibré :

Dans cette étude, une étude expérimentale a été faite pour comparer le comportement des triplets de maçonnerie non renforcés avec celle qui a été crépis à l'aide d'une couche de mortier fibrés par le polypropylène et les fibres en acier.



FigureIII.25: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une pré compression de 0 Mpa)

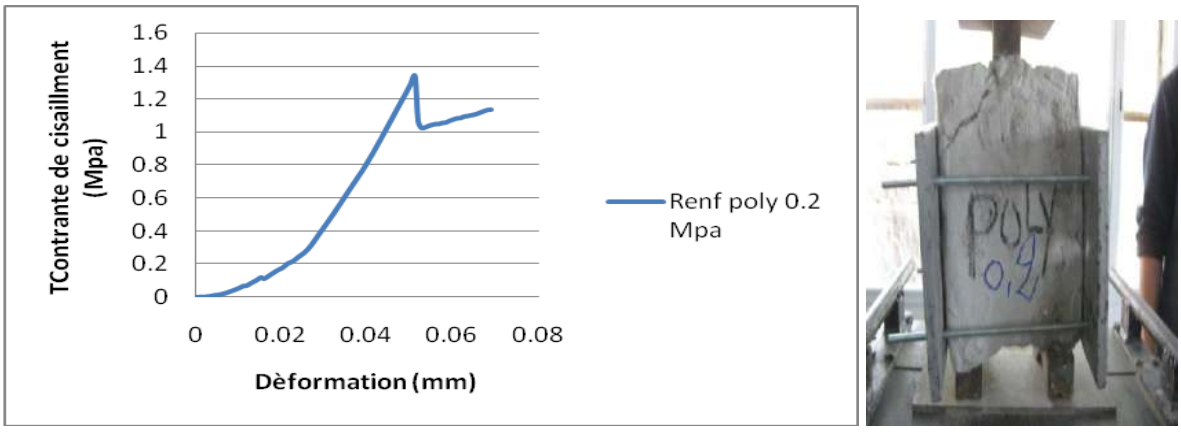


Figure III.26: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une pré compression de 0.2 Mpa)

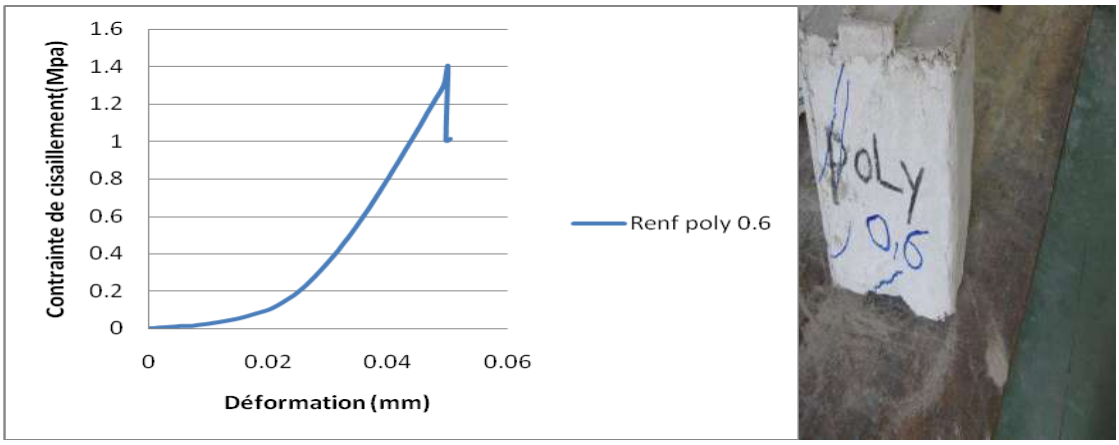


Figure III.27 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une pré compression de 0.6 Mpa)

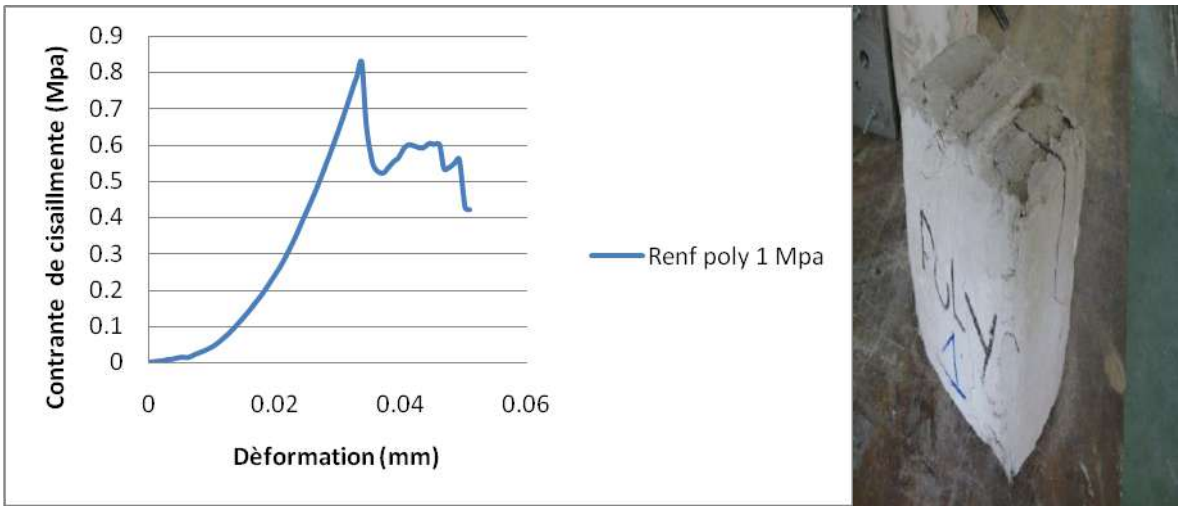


Figure III 28: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a une pré compression de 1 Mpa)

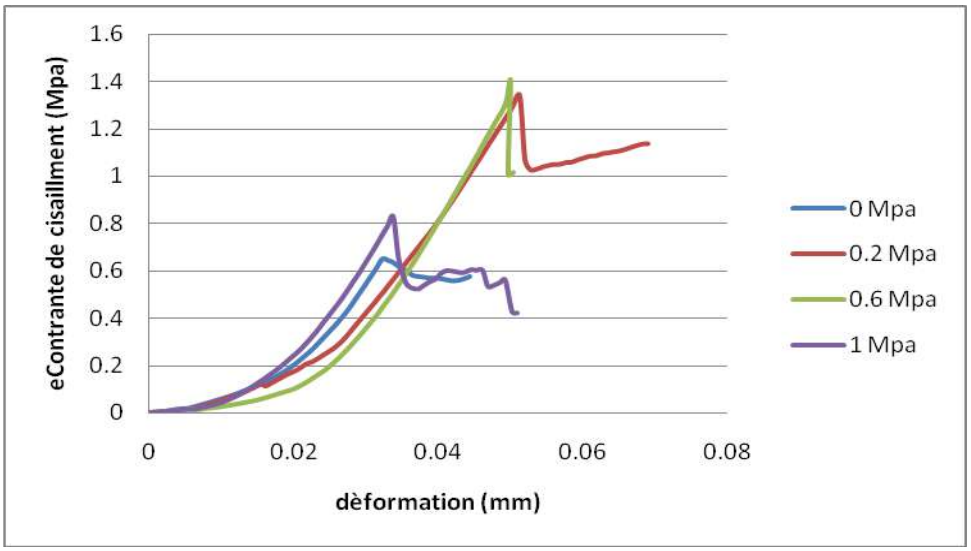


Figure III.29 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de polypropylène a différente valeur de pré compression

- **commentaire**

  D'après la figure(III.29), en remarque que la contrainte de cisaillement de triplets de joint renforcé par des fibres polypropylène plus faible par port le triplets renforcé par polypropylènes (cripissage).lorsque la contrainte maximale au cisaillement de joint **0.59 Mpa,** et la contrainte maximale au cisaillement de triplet renforcé **1.4Mpa**

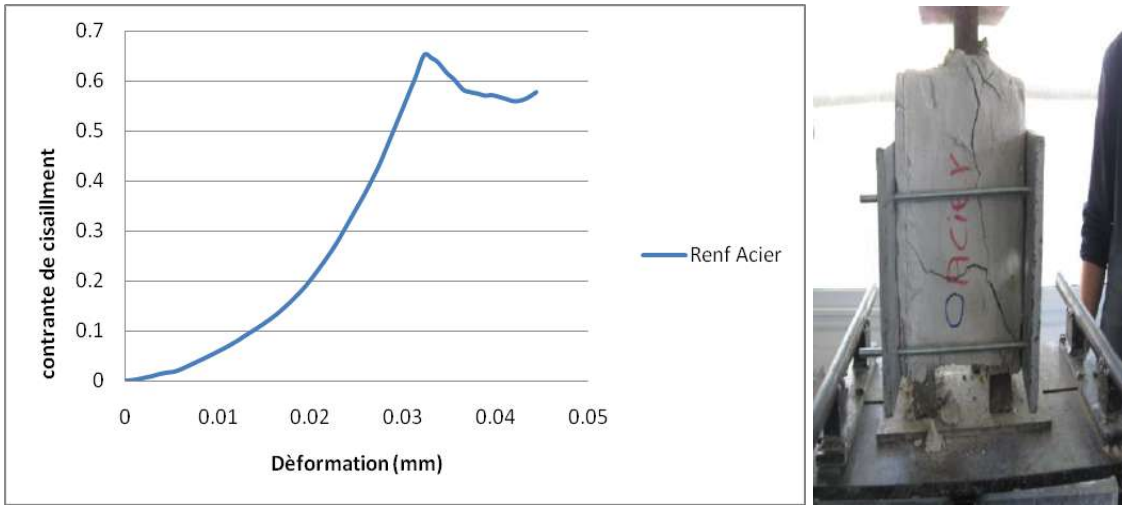
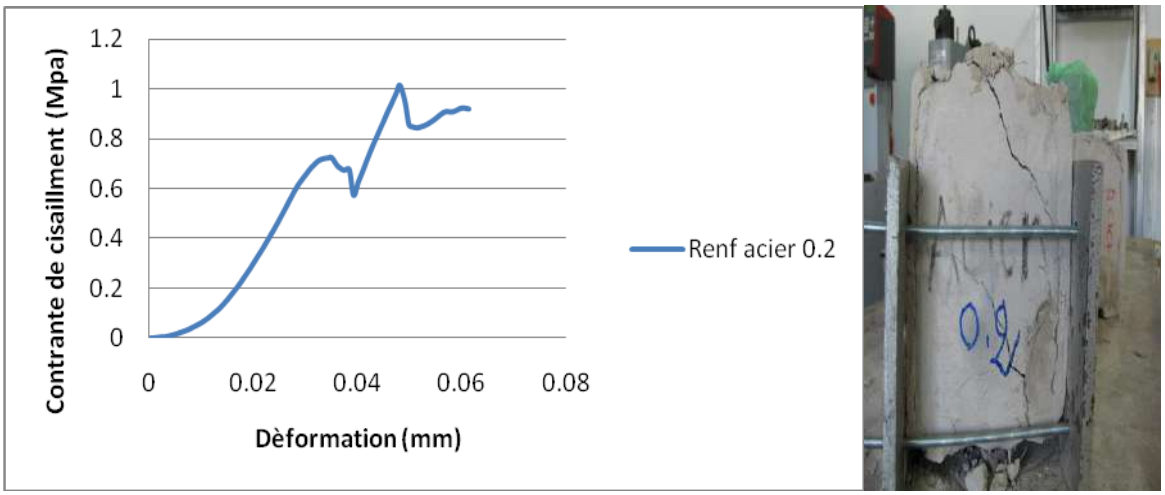
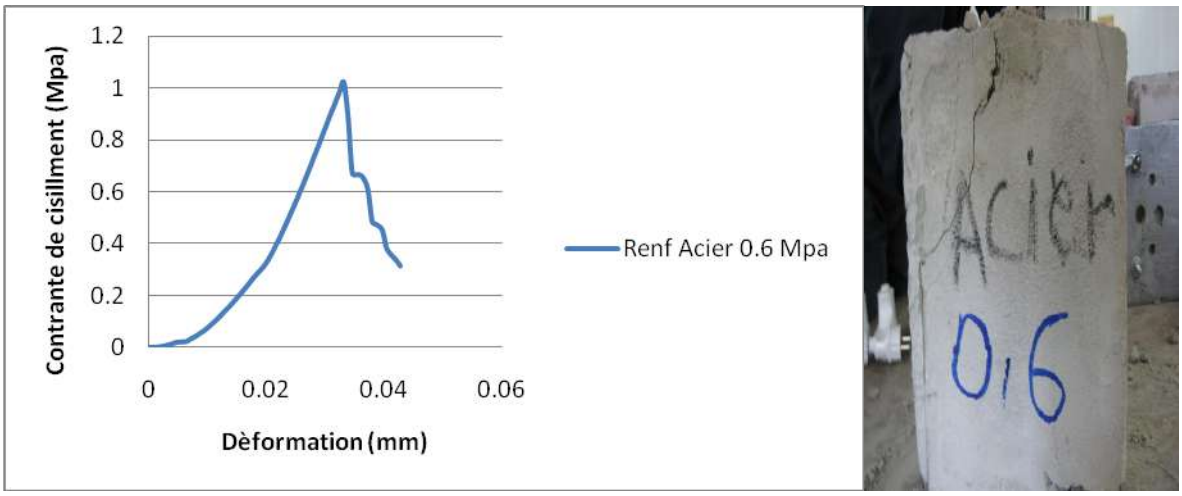


Figure III.30 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une pré compression de (0 Mpa)



FigureIII.31 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une pré compression de 0.2 Mpa)



FigureIII.32 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une pré compression de 0.6 Mpa)

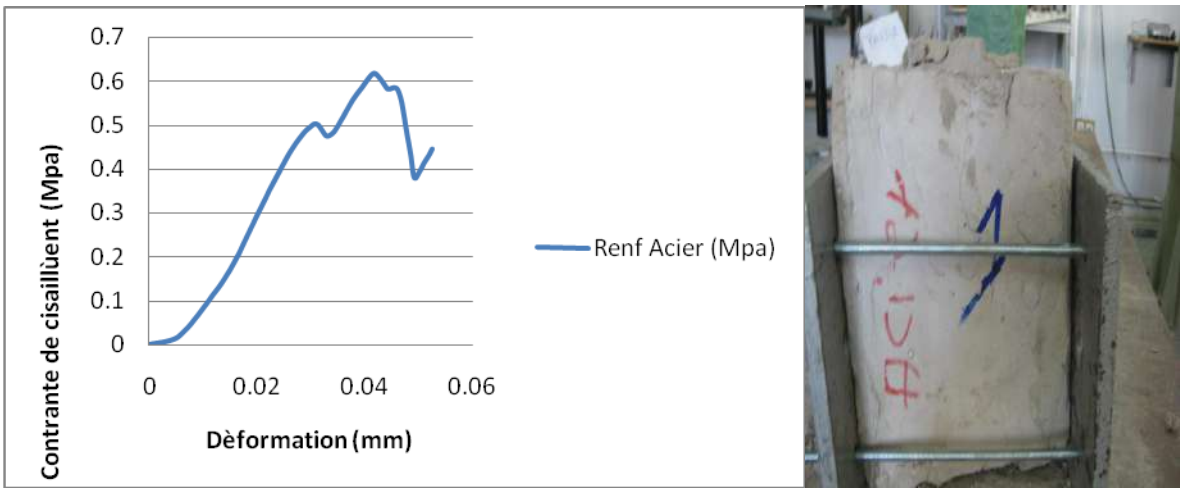


Figure III.33 : Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier a une pré compression de1 Mpa)

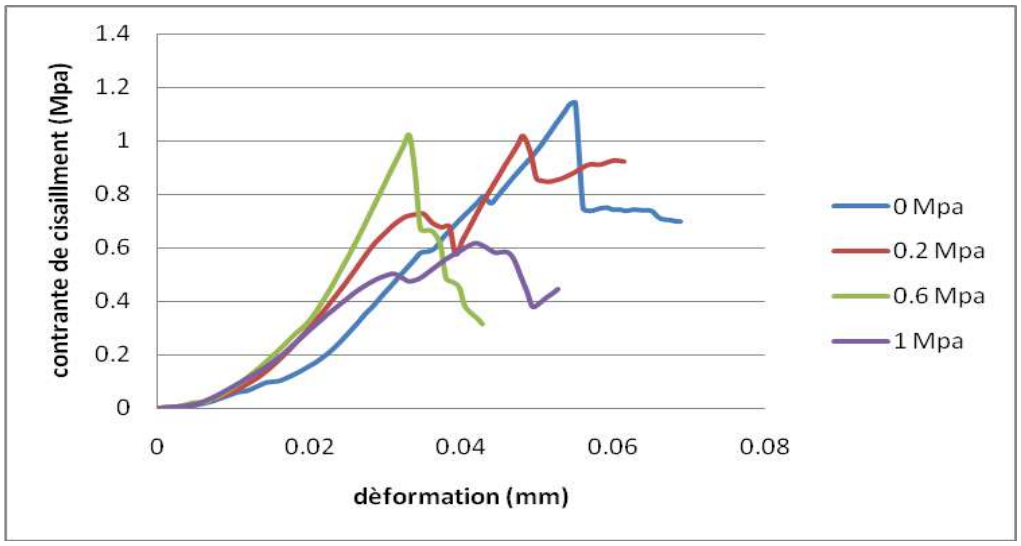


Figure III.34: Essai de cisaillement sur le triplet renforcé par une couche de mortier renforcé par des fibres en acier avec différente valeur de pré compression.

- **commentaire**

D'apés la figure**(III.34)**, en remarque la contrainte de cisaillement de triplets de joint renforcé par des fibres acier plus faible par port le triplets renforcé par aier (cripissage).lorsque la contrainte maximale au cisaillement de joint **0.56 Mpa,** et la contrainte maximale au cisaillement de triplet renforcé **1.15Mpa.**

III.4 Cohésion, angle de frottement

La résistance au cisaillement est la combinaison de la résistance de cohésion τ et la résistance au frottement. Les valeurs de la cohésion et du coefficient de frottement μ=tan ϕ sont calculés à partir du critère de Mohr-Coulomb selon l'Équation suivant :

$$\tau = \tau 0 + \mu\, \sigma c$$

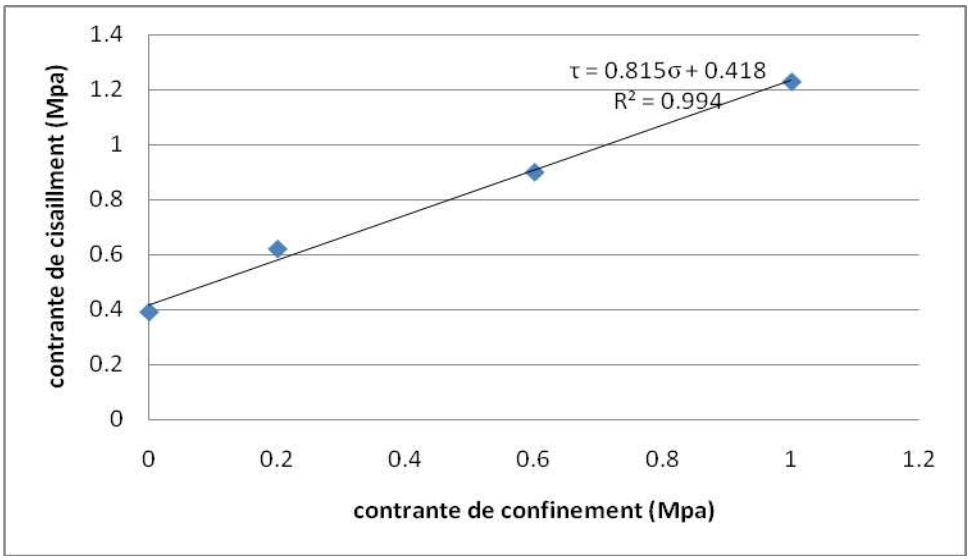


figure III.35 : valeurs ultimes de contraintes de cisaillement (tèmoin)

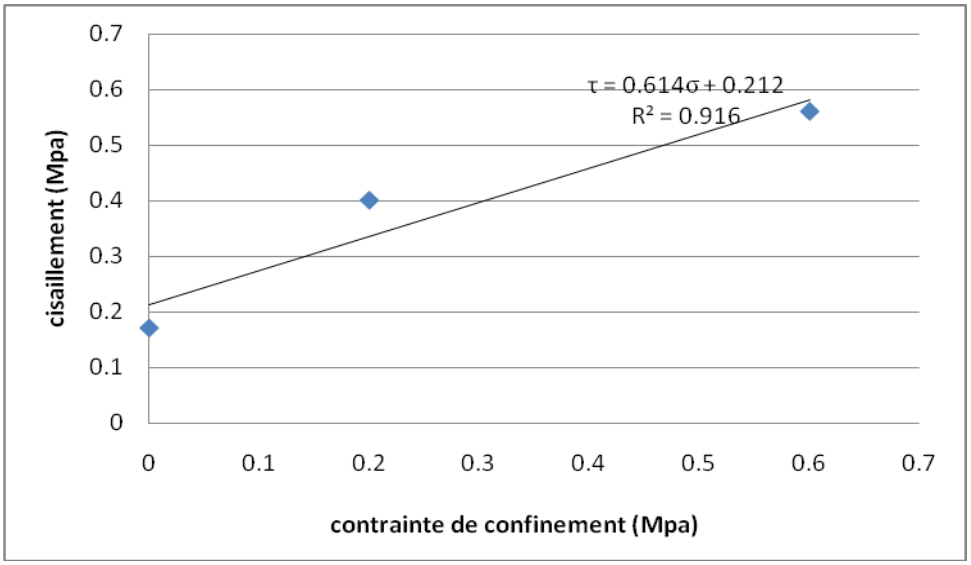


figure III.36 valeure ultimes de contraintes de cisaillement (acier)

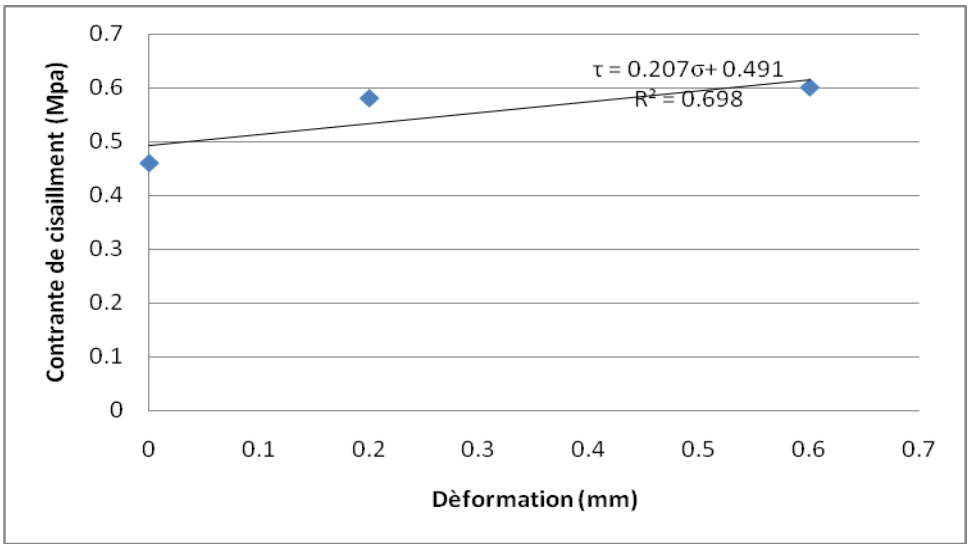


figure III.37 : valeure ultimes de contraintes de cisaillement (poly).

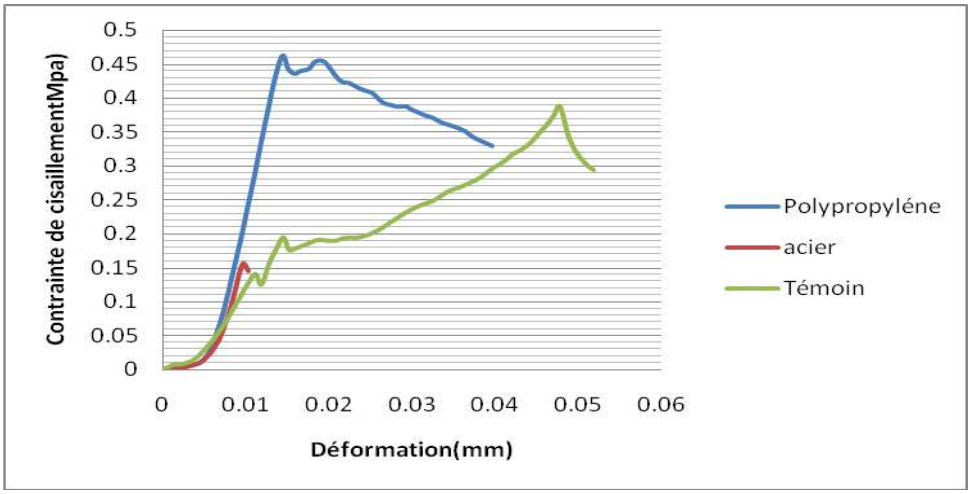
Tableau III.2 : Résultat des contrainte de cissaillment .

Valeurs moyen et caractéristique	Résistance initiale de cisaillement τ0 (Mpa)	Coefficient de frottement μ=tangΦ
Témoin	0.418	0..815
Acier	0.212	0.614
Polypropylène	0.491	0.207

- **Commentaire** :

Dans les courbes d'enveloppe tracées à la suite de l'expérience, en utilisant les valeurs σ et τ obtenues à partir des charges maximales, il observé que la plus haute adhérence (la Résistance initiale de cisaillement C) était obtenue à partir de triplet renforcé par le polypropylène.

Comparaison entre les deux types de renforcement :



FigureIII.38: essai de cisaillement sur triplet avec joint renforcé (0Mpa)

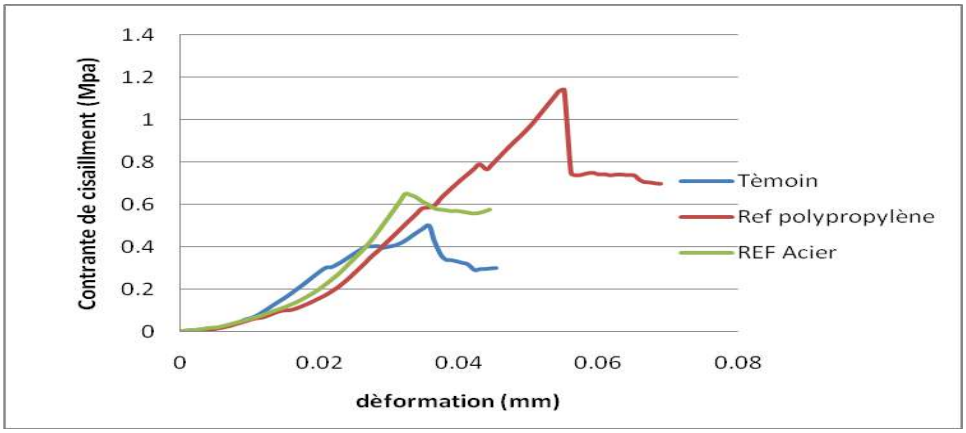


Figure III.39: essai de cisaillement sur triplet renforcé par une couche de mortier fibrée (0Mpa)

- **Commentaire** :

D'après la figure (**III.38**) on a remarqué que la contrainte de cisaillement de triplet de joint renforcé par le polypropylène plus grand par rapport au l'acier.

D'après la **figure (III.39) :** en remarque que dans l'essais de cisaillement, La contrainte de cisaillement obtenue dans le triplet renforcé par une couche fibré par le polypropylène plus grand par rapport à celles renforcé par les fibres en acier et le triplet de référence.

Les résultats obtenus des investigations expérimentales sont donné par rapport aux courbes force-déplacement comparativement pour tous les spécimens d'essai considérés. Il est conclu

que l'application de renforcement au niveau du joint fournie une amélioration dans la résistance au cisaillement de 68% et amélioration de la ductilité de 19%. Cependant, le renforcement des deux côtés par un mortier fibré fourni remarquable force supplémentaire jusqu'à 168% et augmentation de ductilité de 46%.

Ainsi, la rupture de l'échantillon a été empêchés et un comportement ductile a été obtenu.

La résistance au cisaillement la plus élevée a été observée dans les triplets renforce par les fibres de polypropylène, puis dans les triplets renforcés par les fibres d'acier.

Conclusion

Dans cette étude, une étude expérimentale a été faite pour comparer le comportement des triplets de maçonnerie non renforcés avec celle qui a été renforcé par deux types différents de renforcement.

Les résultats obtenus montrent que :

- Le comportement des triplets en cisaillement dépend des comportements mécaniques de la brique et du mortier, du travail du manœuvre, et de la vitesse de chargement.
- La résistance au cisaillement obtenu dans les échantillons crépis à l'aide d'une couche de mortier fibrés est plus grande par rapports aux échantillons renforcés au niveau du joint.
- Une augmentation significative de la résistance au cisaillement a été obtenue dans les échantillons crépis à l'aide d'une couche de mortier fibrés par le polypropylène.
- La résistance au cisaillement la plus élevée a été observée dans les triplets renforcés d'une couche de mortier fibrés par le polypropylène, puis dans les triplets renforcés par les fibres en acier.
- En utilisant les valeurs σ et τ obtenues à partir des charges maximales, il est observé que la plus haute adhérence (C) était obtenue à partir de triplet renforcé par le polypropylène.

Conclusions Générale

Le but de cette étude est l'amélioration du comportement des murs de maçonnerie en briques perforée par un renforcement avec un couche de ciment renforcé par des matériau composite, Pour cet objectif, des expériences sur des triplets en cisaillement ont été effectuées pour des triplets non renforcer et renforcées. Les triplets ont été enduits à l'aide d'une couche de mortiers renforcés par 1 % de fibres de polypropylène et de fibres en d'acier. Les résultats des tests des deux types de spécimens ont été comparés les uns aux autres en termes de relation contrainte-déformation et de résistance au cisaillement.

Les mortiers renforcés augmentent considérablement la rigidité des triplets. On pense que l'augmentation observée chez les rigidités initiales dans les applications de mortier renforcé sont grâce à une bonne surface d'adhérence entre la surface du triplet et le mortier renforcé. Grâce à l'application de mortier renforcé ,la capacité de déformation des échantillons augmente. Le renforcement ne se sont pas complètement décollés de la surface triplet et créé un effet de couverture et augmente la capacité de déformation des triplets. Ainsi, la rupture l'échantillons ont été empêchés et un comportement ductile a été obtenu. La résistance la plus élevée a été observée dans les triplets renforce par une couche de mortier fibre par les fibres du polypropylène, puis dans les triplets en fibres d'acier.

(1)-HOUTI F.B**.,** «Comportement des structures en maçonnerie sous sollicitation uniaxiale», Mémoire de Magister, 2002, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie, 93 p.

(2)GERTIN Y., «Comportement sismique d'un mur en maçonnerie armée entièrement rempli de coulis», Mémoire de Maîtrise et Sciences Appliquées, 2014, Université Sherbrooke, Québec, Canada, 159 p.

(3)ASTM C 270-84 ≪ standard test method of mortar for unit masonry≫.

(4) CF. Annexe 1 **:**Mimoire Mr. RAMDANI Abdelhamid(Influence Des Additions Fillers Calcaires Sur Le Comportement Des Murs En Maçonnerie Sous Chargement De Compression Et De Cisaillement)

(5).[BAC(1985)] BACKES, H.-P.:"On the behavior of masonry under tension in the direction of ²the bed joints"; (in German). Dissertation, Aachen University of Technology, Aachen, Germany, 1985.

(6)[PAR(2013)] F. Parisi, I. Iovinella, A. Balsamo, N. Augenti, A. Prota: "In-plane behaviour of tuff masonry strengthened with inorganic matrix–grid composites"; Composites: Part B 45 pp 1657–1666, 2013.

(7).[HOF(1986)] Hofmann P, Stockl S.: "Tests on the shear-bond behavior in the bed-joints of masonry"; Masonry Int;9:1–15, 1986.

(8).[PLU(1993)] R.V.D. Pluijm: "Shear behavior of bed joints", in: Proc. 6th North American Masonry Conf., eds. A.A.Hamid and H.G. Harris, Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA, p. 125-136, 1993.

(9).[OLI(2008)] Olivier R, Wastiels J, Belkassem B,Tysmans T, Cuypers H. Processing technique to impregnate glass fiber mats for textile reinforced cementitious composites. In: International conference on textile composites Texcomp 9 conference proceedings, Delaware, USA, October 2008. In press.

(10).[ADB(2006)] L. Abdou, R. Ami Saada, F. Meftah, A. Mebarki: "Experimental investigations of the joint-mortar behavior"; Mechanics Research Communications 33 PP 370–384, 2006.

(11).[VAS(2005)] Graça de Fátima Moreira de Vasconcelos, « Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls", thèse 2005

(12).[FOU(2006)] Fazia FOUCHAL : "Contribution à la modélisation numérique des interfaces dans les structures maçonnées" ; thèse soutenue le 8 décembre 2006, Université de Reims Champagne-Ardenne.

(13).[LUC(2011)] Bibiana Luccioni, Viviana C. Rougier: "In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composite materials"; Construction and Building Materials 25 pp 1772–1788, 2011.

(14).[LOU(2004)] Paulo B. Lourenc¸o, J. Pina-Henriques : "Validation of analytical and

continuum numerical methods for estimating the compressive strength of masonry"; Computers and Structures 84 pp 1977–1989, 2004.

(15)[GAB(2002)] Aron Gabor : "Contribution à la caractérisation et à la modélisation des maçonneries non-renforcées et renforcées par matériaux composites" ; thèse soutenue le 17 avril 2002.

(16)[FOU(2006)] Fazia FOUCHAL : "Contribution à la modélisation numérique des interfaces dans les structures maçonnées" ; thèse soutenue le 8 décembre 2006, Université de Reims Champagne-Ardenne

(17)[MOH(2006)] A.G. Mohammed: "experimental comparison of brickwork behavior at prototype and model scales"; thèse soutenue 2006.

(18)[ZIM(2011)] Thomas Zimmermann and Alfred Strauss, "Variation of shear strength of masonry with different mortar properties", Eleventh NAMC Minneapolis, mn USA, juin 5-8- 2011

(19)[ALE(2013)] Valerio Alecci, Mario Fagone, Tommaso Rotunno, Mario De Stefano, « Shear strength of brick masonry walls assembled with different types of mortar", Construction and Building Materials 40 pp 1038–1045, 2013.

(20)[LOU(1996)] P. Lourenço : "Computational strategies for masonry structures"; thèse soutenue 1996.

(21)ANAND C.S. (1985**)** « Shear stress in composite masonry walls », Poc. Cong. 85, Chicago 7.

(22)CGS1 92. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, " Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages", premier semestre 1992

(23) Karbhari V.M., Zhao L., Use of composites for 21st century civil infrastructure,Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 185, p. 433-454, 2000

(24)CSA-S304.1 Design of masonry structures. Canadian Standards Association.ISBN 1-55397-402-6.H.B, 2004

(25). Khalifa A., Gold W., Nanni A., Abdel Aziz M.I., Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of flexural members, Vol.2, No.4, p. 195-203, 1998.

(26). Willis CR., Yang Q., Seracino R., Griffith MC., Bond behaviour of FRP-to-clay brick masonry joints. Eng Struct 2009;31(11):2580–2587.

(27). Capozucca R., Experimental analysis of historic masonry walls reinforced by CFRP under in-plane cyclic loading, Composite Structures,94, p.277–289, 2011.

(28). Kalali A., Kabir M.Z., Experimental response of double-wythe masonry panels strengthened with glass fiber reinforced polymers subjected to diagonal compression tests, Engineering Structures, 39 p.24–37, 2012.

(29) Mosallam A., Banerjee S., Enhancement in in-plane shear capacity of unreinforced masonry (URM) walls strengthened with fiber reinforced polymer composites Composites, 42, p.1657–1670, 2011.

(30) Santa-Maria H., Duarte G., Duarte A., Garib A., Experimental Investigation of masonry panels externally strengthened with CFRP laminates and fabric subjected to in-plane shear load, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, No. 1627, August 1-6, 2004.

(31). Valluzzi M.R., Tinazzi D., Modena C., Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates, Construction and Building Materials, 16 p.409–416, 2002.

(32) Ortlepp R., Lorenz A., Curbach M., Column Strengthening with TRC: Influences of the Column Geometry onto the Confinement Effect,Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 493097, 5 pages, 2009.

(33). Brückner A., Ortlepp R., Curbach M., Textile reinforced concrete for strengthening in bending and Shear, Materials and Structures, 39:p. 741–748, 2006.

(34). Schladitz F., Curbach M., Torsion tests on textile-reinforced concrete strengthened Specimens, Materials and Structures,45: p.31–40, 2012.

(35). Papanicolaou C., Triantafillou T., Lekka M., Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels, Construction and Building Materials,25 p.504–514, 2011.

(36). Parisi F., Iovinella I., Balsamo A., Augenti N., Prota A., In-plane behaviour of tuff masonry strengthened with inorganic matrix–grid composites, Composites45 p.1657–1666, 2013.

LISTE DES NORMES UTILISE

- ASTM C 270-84 ≪ standard test method of mortar for unit masonry≫

- ASTM C 469-83 ≪ standard test method of static modulus of elasticity and poison's ratio of concrete in compression≫.

- RILEM. LUMB1-Compressive strength of small walls and prisms. Technical Report, RILEM; 1994.-) RILEM. LUMB5-Short-term shear test for the interface between the masonry unit and mortar or moisture-insulating interlayer. Technical Report, RILEM; 1994.

-RILEM. LUMB6-Diagonal tensile strength tests of small wall specimens.

-[NA 2607], Normes Algérienne : « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage », 1990.

-[NF P 18-412], 1981, << Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique >>.

-[XP P18-598], Norme françaises : Granulats équivalent de sable (indice de classement P18-3938), Octobre 1991.

-[NF P 18-404], Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules », Décembre 1989.

-[NF EN 1052-3], Avril 2003 Méthodes d'essai de la maçonnerie - Partie 3 : détermination de la résistance initiale au cisaillement