République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Universitaire Yahia FARES de Médéa

Faculté De la Technologie

Département de Génie Civil

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplome de Master en génie civil

Option: **matériaux** *en Genie Civil*

Thème :

Comportement au cisaillement des murs en maçonnerie renforcés par matériaux Composites TFC a l'aide de deux types de mortier batard

Etudié par :

M^{lle} BEN LARBI Wafa

M^{me} HADJIMI Chahrazad

Encadré par:

M^{me} HERNOUNE.H

Promotion 2017/2018

ملخص :

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

Résumé:

La maçonnerie de brique joue un rôle important dans le domaine de la construction signifiant la nécessité d'étudier la nature du comportement de la maçonnerie dans différentes conditions et compositions. Dans ce travail des études expérimentales des propriétés des matériaux, le comportement en compression et en cisaillement de la maçonnerie en brique avec différents type de mortier sont présentées.

Les propriétés du matériau sont évaluées à partir des essais de compression et flexion des briques, et mortier. Des étude expérimentale de panneaux de maçonnerie en briques perforé de terre cuite non renforcé et des panneaux renforcés par un tissu de fibre de carbone avec plusieurs dispositif testés sous chargement uni axial jusqu'à la rupture avec différents type de mortier sont effectués pour évaluer et comparer leur résistance au cisaillement, Nous tentons de montrer l'influence de l'ensemble de ces paramètres sur le comportement des structures en maçonnerie étudiées.

Abstract:

Brick masonry plays an important role in the field of construction, meaning the need to study the nature of masonry behavior under different conditions and compositions. In this work of experimental studies of the properties of materials, the behavior in compression and shear of brick masonry with different type of mortar are presented.

The properties of the material are evaluated from the compression and bending tests of bricks, and mortar. Experimental study of non-reinforced perforated brick masonry masonry panels and carbon fiber fabric reinforced panels with several devices tested under uni-axial loading until fracture with different types of mortar are performed to evaluate and compare their shear strength, We try to show the influence of all these parameters on the behavior of the masonry structures studied.

Sommaire:

RESUME
SOMMAIRE
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
NOMENCLATURE
INTRODUCTION GENERAL

CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE
I. Introduction ..... (1)
I.1 Historique de la maçonnerie ..... (2)
I.2 Maçonnerie ..... (5)

I.2.1 définition : ..... (5)
I.2.2. Domain d'application: ..... (5)

I.2.3 LES DIFFERENTS TYPES DE MACONNERIE :..... (6)

I.2.3.1 Introduction: ..... (6)

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

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

c) Maçonnerie en briques d'argile cuite: ..... (7)

C-1) Brique pleine : ..... (8)

C-2) Brique perforée: ..... (9)
C-3) Brique creuse : ..... (9)

C-4 brique mono mûr : ..... (10)

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

I.2.4 LES MORTIERS: ..... (11)

I.2.4.1 Définition du mortier : ..... (11)

I.2.4.2 .1Types de mortier : …… (12)

A) Le mortier-ciment: …… (12)

B) Le mortier hydrofuge: …… (13)

C) Le mortier réfractaire : …… (13)

D) mortier de chaux : …… (13)

E) Le mortier bâtard: …… (14)

F) Le mortier-colle: …… (14)

G) Mortier de plâtre: …… (14)

H) I.2.4.2.22 Les classe de mortier: …… (15)

I.2.4.3 Les constituants des mortiers: …… (16)

a) **Les ciments: …… (16)**
b) **La chaux: …… (16)**
c) **Le sable: …… (17)**
d) **L'eau de gâchage: …… (17)**
e) **Les ajouts: …… (17)**

I.3 DEFAUTS DANS LA MAÇONNERIE: …… (18)

I.4 Fonctionnalités et pathologies de la maçonnerie: … (19)

I.4.1 Fonctionnalités de la maçonnerie: …… (19)

I.5 PATHOLOGIES DE LA MAÇONNERIE: …… (20)

I.6 Les propriétés mécaniques de la maçonnerie: …… (21)

I.6.1 MODE DE RUPTURE DE LA MACONNERIE: …… (22)

a) Rupture par glissement: …… (21)
b) Rupture par basculement: …… … (21)
c) Rupture par cisaillement: …… (21)
d) Rupture par compression du coin: …… (22)
I.6.2.1 Comportement sous sollicitation de compression uni axiale: …… (22)

I.6.2.2Comportement en traction uni-axiale de la maçonnerie: (24)
I.6.2.3: comportment bi axial de la maconnerie …… (25)
I.6.2.4 Comportement en flexion des murs en maçonnerie: (27)

A. Flexion uni-axiale: …… (27)

B. Flexion bi-axiale: …… (30)

I.6.2.4Comportement de la maçonnerie au cisaillement: …….. (30)

1.6.3 Modes de rupture au cisaillement dans le plan du Mur: ….. (31)

I.6.3.1Travaux effectués sur le cisaillement: …….. (32)

A. **Travaux De Miha Tomazevic: …….. (32)**
B. **Les travaux d'A. Gabor et Al. …….. (34)**
C. **Les Travaux De Parker Et Al …….. (35)**
D. **Etude De Vasconcelos, Alves ET Lourenço: …….. (37)**
E. **Les travaux de Corradi …….. (39)**

I.7 Le renforcement des structures: …… (40)

I.7.1Techniques ET matériaux utilisés: …….. (40)
I.7.1.1 Renforcement traditionnel: …….. (40)
I.7.1.2 Renforcement métallique ou avec du béton armé: …….. (42)

I.7.1.3 Renforcement par matériaux composites: …….. (46)
I.71.4 Les fibres: …….. (47)

A. **Les fibres de verre: …….. (47)**
B. **Les fibres de Carbone: …….. (48)**
C. **Fibres de polypropylene: …….. (48)**
D. **Les fibres d'aramides (PRFA): …….. (53)**
E. **Fibres d'acier: …….. (49)**

Conclusion: …….. (50)

II.INTRODUCTION : ……..(52)

II.1.MATERIAUX UTILISE:……..(52)

II.1.2.Provenance des matériaux :……..(52)

II.2. Caractéristiques des matériaux : ……..(53)

1) **Chaux : ……..(53)**
2) **Le ciment: ……..(54)**
3) **Eau de gâchage :……..(55)**
4) **la brique : …….. (55)**

a. **Caractéristiques géométriques : ……..(55)**
b. **Caractéristiques physiques: ……..(55)**

c. **CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES…… (*56)***
5) **Le sable (définie selon la norme NA523-1990): ……..(56)**

II.3.Mortier ……..(61)

II.3.1. Essai sur mortier …….. (61)
II.3.1.1. Equipement nécessaires pour l'essai : ……..(61)
II.3.1.2. Conduite de l'essai : …….. (62)
A. **Résistance à la flexion …….. (63)**
B. **Résistance à la compression …….. (63)**

II.4. LES MURETS: …….. (64)

II.4.1. CONFECTION DES MURETS …….. (65)

II.4.2. Matériel utilisé: …….. (65)

II.4.3. Méthodologie de la confection des murets …….. (66)

II.5. MATERIAUX DE RENFORCEMENT …….. (66)

II.5.1. Fibres de carbone …….. (66)

II.5.2. Résine d'imprégnation pour le système SikaWrap: …….. (67)

II.6. MODE D'APPLICATION DE LA FIBRE DE CARBONE : ……..(68)
1. **PREPARATION DE LA SURFACE ……..(68)**
2. **COUPER LE TISSU EN FIBRE DE CARBONE ……..(69)**
3. **LE MELANGE DES COMPOSANTS DE LA RESINE EPOXY SIKADUR 330: …….. (69)**

II.7. DIFFERENT DISPOSITIFS DE FIBRE ADOPTE : …… (70)
II.8. ESSAI DE COMPRESSION DIAGONALE : …… (71)
II.8.1.Dispositif d'essai : …… (71)
1.8.2. Protocole de l'essai : …… (71)
1.8.3. Essais de compression diagonale sur les murets : …… (72)
II.9. Paramètres expérimentaux : …… (72)
CONCLUSION: …… (75)

III.INTRODUCTION …… (77)

III.1.RESULTATS EXPERIMENTAL: …… (77)

III.1.1 .LES BRIQUES …… (77)

a) Caractéristiques géométriques : ……(77)
b) Caractéristiques physiques : ……(77)
c) c) Caractéristiques mécaniques ……(78)

III.1.2.LE SABLE …… (79)

III.1.2.1.Analyse granulométrique de sable Fin:……(79)

III.1.2.2. Module de finesse: …… (80)

III.1.2.3. Résultats de L'équivalant de sable Fin. …… (80)

III.1.2.4. Résultats de la masse volumique: ……(81)

III.1.3. Le mortier: …… (82)

A. Résistance à la compression : ……(82)
B. III.1.3.LES MURETS : ……(82)
C. III.1.3.1.Comportement de murs témoins : ……(82)
D. III.1.3.2. Comportement des murs renforcés par fibre de Carbone: ……(84)
A. Murs renforcé MRI …… (84)
B. Muret MRH avec des talents …… (85)

C-Murs renforcé diagonalement avec une bande dans la direction de diagonal comprimé MRX: …… (87)

III.2.Influence du %des fibres sur le comportment des murets: ……..(88)

Conclusion: …….. (91)

Liste de tableau

Chapitre I:

Tableaux. I.1 : Modes de rupture d'une maçonnerie constituée de briques à base d'argile soumise à un chargement bi axial…….26
Tableau I.2: Les valeurs caractéristiques f_{vk0} suivant l'eurocode 6 et les valeurs trouvés expérimentalement par MIHA TOMAZEVIC (MIHA, 2008)……..32
Tableaux I.3: Résultats expérimental et numérique de cisaillement (Vasconcelos, et al., 2012)……38

Chapitre II:

Tableau. II.1: La fiche technique des propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida…….53

Tableau II.2: dosage de mortier bâtard……..61

Tableau II.3 : limites de temps pour réalisés l'essai de compression……63
Tableaux .II.4: caractéristiques des murets ……64
Tableau II.5: caractéristiques de fibre de carbone……....67
Tableau II.6: caractéristiques de la Résine……68
Tableau II.7: présentation des murée renforcée**……..70**

CHAPITRE III

Tableau III.1: caractéristiques physiques des briques perforé.....77
Tableau III.2 : résultats d'essai de compression sur briques……..…….78
Tableau III.3 : Analyse granulométrique de sable fin……..79
Tableau III.4: Résultats de l'équivalent de sable Fin……...80

Tableau III.5: Résultats de l'équivalent de sable Fin……..…….80

Tableau III6: Nature et qualité de sable en fonction de (ESV et ESP)…….……81

Tableau III.7: Résultats de la masse volumique absolue (sable fin)…….……81

Tableau III.8: résultats des essais sur le mortier……82

Tableau III.9 : résultat des murée témoin……..84

Tableau III.10: Tableau récapitulatif des résultats expérimentaux……89

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure. I.1 : mur en pierre naturel…….6

Figure. I.2 : Les différents types de parpaing (BALANDIER, 1990).....…..7

Figure I.3: Briques pleines (www.bricoman.fr).....8

Figure I.4: Mur en briques perforées (www.wienerberger.fr).....9

Figure I.5: Briques creuses de différents formats (www.ecopram.ma).....10

Figure 1.6 : Brique mono mûr**…**……..10

Figure 1.7 : Maçonnerie en briques silico – calcaire……...11

Figure I.8 : Constituants d'un mortier (CHERIF et KARA, 2013)……...12

Figure I.9 : Défauts causés par le Mouvement des dalles (www.paysdecernes.org).....18

Figure I.10 : Mouvements de dilatation thermique (www.paysdecernes.org).....18

Figure I.11 : Fissure le long des fenêtres (www.paysdecernes.org).....18

Figure I.12: fonctionnalité de la maçonnerie (GHANEM, 2013)……..19

Figure I.13 :Comportement des murs remplis de maçonnerie (GHANEM, 2013)…….21

FigureI.14 : comportement de la maçonnerie sous l'effet d'un effort normal aux joints horizontaux…….22

Figure. I.14 : Essai de traction dans la direction parallèle aux joints horizontaux…….23

Figure. 1.15: Diagramme contrainte -déplacement pour un essai de traction suivant la direction parallèle aux joints horizontaux……24

Figure. I.16: Essai bi axial sur des panneaux de maçonnerie……25

Figure I.17 : Modes de rupture d'un mur en maçonnerie soumis un chargement bi axial……25

Figure I.18 : Comportement à la flexion des murs en maçonnerie……...27

Figure.I.19 : Modes de rupture sous flexion uni-axiale : a) flexion horizontale…….29

Figure. I.20 : Modes de rupture des murs……29

Figure I.21 : Modes de ruptures pour un mur en maçonnerie sous l'effet d'un effort de cisaillement……31

Figure 1.22 .Test de résistance du cisaillement initiale selon l'ASTM EN 1502-3 (MIHA, 2008)……32

Figure 1.23: Dispositif de l'essai (Gabor, 2006)…….33

Figure I.24: Résultat des essais……...35

Figure. I.25: Configuration du test sur les murs (ASTM E 519-02, 2012)…….36

Figure. I.26: Résultat de l'essai de cisaillement (ASTME519-02, 2002)…….36

Figure I.27: Dispositif de l'essai (Vasconcelos, et al., 2012)……37

Figure I.28: Résultat obtenu des écrasements des murs (Vasconcelos, et al., 2012)……38

Figure I.29: Test d'un mur en diagonale (CORRADI et AL, 2003)……39

Figure I.30: Renforcement des ouvertures des éléments de maçonnerie……..41

Figure I.31 : Renforcement de la maçonnerie avec contrefort et ancrage de la pierre…….42

Figure 1.32:Comportement de cisaillement des murs renforcés avec remplacement de 2 à6 cm de mortier des joints……..……..43

Figure I.33: Renforcement des joints de mortier de la maçonnerie……46

Chapitre II:

Figure. II.1:la chaux éteinte(NHL) de Hssasna…….54

Figure II.2: Ciment de Matin……54

Figure II.3: Dimensions des briques perforées……...55

Figure II.4: Les briques en compression selon les trois directions……..……56

Figure. II.5: sable utilisée……57

Figure II.6: Essai d'équivalent de sable (sable fin)……58

Figure. II.7: Procédure de mesure de l'équivalent de sable……..…….59

Figure. II.8 : Essai d'analyse grannulométrique(sable Fin)……..……59

Figure II.9: Essai de masse volumique de sable fin…….....60

Figure II.10: Moule prismatique et éprouvettes 4x4x16 cm de mortier……..62

Figure II.11 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (VENUAT, 1989)…..…..63

Figure II.12:Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (Michael, 1989)……64

Figure II.13: Dimensions des murets en brique**……..65**

Figure II.14 : Outils utilisés pour la confection des murs……65

Figure II.15: cinquième rangé du mure……66

Figure II.16: Tissu en fibre de carbone…….....67

Figure. II.17: nettoyage de la surface des mures……..69

Figure II.18 : composants A et B de la résine époxy bi-composants 4: 1**……..……..69**

Figure. II.19*:* les différents dispositifs de renforcement**……..70**

Figure. II.20*:* Mise en place les murets dans la presse. CNERIB**……..72**

Figure II.21: Courbe de comportement (a) adoucissement, (b) durcissement……74

Chapitre III

Figure III.1:Résultats d'essai de compression sur brique…*78*

Figure III.2:courbe granulométrique de sable Fin……..79

Figure.III.3: le mode de rupture de mur témoin MT……82

Figure III.4: compression diagonale de mur MTA de référence**……83**

Figure III.5: Compression diagonale: le mode de rupture de mur MTB…….. ……..83

Figure III.6: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRIA……84

Figure.III.7: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRI B…….84

Figure III.8: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRX A……86

Figure III.9: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRX B…….86

Figure III.10: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire: MRH A…….87

Figure III.11: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRH B……88

Introduction générale:

La maçonnerie est l'art de bâtir une construction par l'assemblage de matériaux élémentaires, lie ou non par un mortier.

Par extension, on associe aussi sous le terme ‘’maçonnerie’’ les travaux d'habillage des ensembles : pose enduits, carrelages, etc. Plus de leur esthétique, participent a la tenue de l'ensemble face aux agressions externes (humidité, gel, etc.) L'intervention dans une structure dépend de son niveau de vulnérabilité, qui peut être un Problème de matériaux ou de structure. Les problèmes de structures se caractérisent par des problèmes d'endommagement à cause des charges excessives, effondrement de sol, forces Séismiques et de vent. Ces problèmes doivent être traités pour assurer la stabilité et la Résistance.

Par ailleurs, 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. La maçonnerie est un matériau anisotrope composite de brique et de mortier, nécessite l'étude de son comportement suivante les deux directions perpendiculaire et parallèle au joint de mortier cependant la connaissance et la détermination de leur comportement mécanique est indispensable a fin de prédire leur durabilité et leur avenir.

Dans le but de comprendre le comportement de ces structures sous les différentes sollicitations auxquelles elles sont soumises a :

La compression uni axiale

La traction par flexion uni axiale

Le cisaillement

Compression diagonale

Cette étude a pour objectif de traiter des problèmes structurels d'un élément de structure en maçonnerie en joué a la pourcentage de sable dans le mortier, aussi nous allons étudies le comportement mécanique de divers sollicitation a travers des modèles réduits de tester des modèle renforces par la fibre de carbone comme un tissu.

- ❖ Plan de travail :
- ➢ Chapitre 1 : les types de maçonneries et de mortier et le comportement mécaniques sur la maçonnerie.
- ➢ Chapitre 2 : cette partie représente les différentes essais applique sur le mortier et la maçonnerie.
- ➢ Chapitre 3 : présente les résultats expérimentaux et leurs interprétations.

I. Introduction :

La maçonnerie présente un matériau composite anisotrope composé de rangés ou assemblages de pierres et Mortier. Ces comportements mécaniques dépendent des caractéristiques des matériaux composants. Les Structures en maçonnerie sont élaborées à partir de briques, pierres et en mortier. Le mortier est un mélange constitué de sable d'eau liant (ciment chaux) ne comporte pas de gravie ; nous utilisent un mortier a bas de chaux hydraté ciment et de sable le mortier modifie par la quantité de sable pour augmente les caractéristiques qui peuvent inclure la dureté, résistance à la flexion ou en traction, et une résistance au cisaillement.

La maçonnerie est largement utilisée comme un matériau de construction pour sa solidité, ses qualités esthétiques et sa souplesse d'emploi. Dû essentiellement à son hétérogénéité, elle présente, en général, un comportement mécanique très complexe. Le comportement mécanique de la maçonnerie est fonction des caractéristiques mécaniques des matériaux constitutifs ainsi que de l'interaction entre ses différents constituants. De plus, elle est très influencée par la nature de la sollicitation appliquée et par les conditions de mise en œuvre. Les procédés de fabrication, les conditions de séchage et de cuisson et la composition granulométrique des matériaux constitutifs jouent un rôle prépondérant et engendrent un comportement aléatoire des éléments qui rend l'expérimentation délicate.

I.1.Historique de la maçonnerie :

La maçonnerie est la plus ancienne technique utilisée dans la construction qui trouve encore sa place dans la construction industrielle moderne, ceci malgré l'utilisation intensive de matériaux de la construction comme le béton ou l'acier.des amélioration importantes ont été apportées a ce matériau, mais la technique d'empilement des briques ou des pierres est restée essentiellement la même au fil du temps. Ceci lui donne caractéristique simple et très particulière et offre beaucoup d'avantages dans la construction tels que : l'esthétique, la solidité, la durabilité, la bonne isolation phonique et thermique, la protection contre le feu ect…

Elle peut également jouer le rôle de murs porteurs dans une structure puisqu'elle possède une bonne résistance aux efforts horizontaux notamment aux efforts sismiques. Les archéologues ont constaté que les premières maçonneries datent de l'âge de pierre, l'art de l'architecture remonte donc a très longtemps, aux premières civilisations, depuis ces époques lointaines la maçonnerie est devenue une technique de construction très répondue.

Le premier matériau qui a été utilisé dans la maçonnerie est probablement la pierre, les plus anciennes constructions de maçonnerie en pierre ont séchées au soleil ont été retrouvées près de lac Hula en Palestine et datent d'environ 9000-8000 ans avant Jésus-Christ. De nombreuses constructions maçonnées en pierre ont survécu jusque a ce jour, et témoignent de la puissance des cultures anciennes et médiévales.

Citons l'architecture égyptienne avec les pyramides des pharaons (environ 2800-2000 ans avant Jésus-Christ), L'architecture romaine (environ 0-1200 après Jésus-Christ)

Avec les temples, les palais, les arches, les colonnes, les barrages et les aqueducs …, l'architecture gothique (environ1200-1600 après Jésus-Christ) avec les magnifiques cathédrales et bien d'autres constructions. C'est avec les mâcons de l'époque gothique que l'art de découper les pierres a atteint toute sa splendeur.

A présent, la pierre reçoit un nouveau rôle dans la construction industrielle du fait de ses difficultés d'extraction, de transport et de mise en œuvre. Elle est devenue un matériau excessivement cher et d'autres matériaux ont pris le dessus dans les applications structurales donc la maçonnerie est principalement devenue un matériau a usage esthétique. En plus de pierre, la brique séchée au soleil était aussi un matériau de construction très utilisé notamment par les habitants des contrées peuplées au Moyen-Orient. Les habitants se retrouvaient d'une part face a des problèmes de manque de bois pour la construction, des difficultés d'approvisionnement en pierre et surtout a une forte demande de construction, d'autre part, ces endroits sont caractérisés par un climat très rude connu par de hautes températures mais possédaient une forte abondance d'argile. Par conséquent, ces raisons ont favorisé le développement et augmenté la fabrication de la brique sèche.

La brique est devenue un matériau léger, facile a mouler, permettant de donner des formes diverses aux murs et qui possède également des propriétés de résistance et de durabilité.

Au Moyen-Orient, depuis 500 ans avant Jésus-Christ et jusque a l'occupation romaine (50 ans après Jésus-Christ) le matériau essentiel pour la construction était la brique séchée au soleil.

L'utilisation de la brique cuite a commencé probablement avec l'observation des briques séchées au soleil, qui devenaient très rigides et durables au contact de la chaleur, notamment pour les briques qui constituaient les murs des fours de cuisson. C'est sous l'empire romain que l'utilisation de la brique cuite a pu s'élargir et gagner du terrain surtout avec l'introduction d'autres types d'additifs qui sont rentres dans la composition des briques. Ceci a permis une homogénéisation de l'architecture et une prépondérance de la brique dans les constructions.

Les briques prennent alors des formes beaucoup plus ‘standards’ et régulières, elles peuvent prendre aussi des formes spécifique En fonction de leur utilisation ; par exemple les éléments décoratifs.

Plus prés de nous, l’histoire de la maçonnerie est liée aussi a la révolution industrielle, l’activité industrielle va remplacer les procédures manuelles. Le point de départ de la fabrication industrielle des briques a commencé avec l’introduction du four d’Hoffman kiln en 1858 dans lequel se font toutes les procédures de fabrication a partir de la phase de préparation jusqu’ a la cuisson. Depuis de nombreuses recherches ont été faites pour améliorer la production des briques.

A présence, dans la construction industrielle, beaucoup de changements ont été apportés a la maçonnerie d’une manière générale, notamment aux techniques de fabrication des constituants et a leur composition. L’ancien et le nouveau coexistent et dans la plupart des cas sont indissociables. Le mélange du traditionnel et du moderne est présent dans presque toutes les constructions.des produits innovants, tels que les briques modernes, le béton armé ou préfabriqué, les matériaux composites … coexistent avec la brique traditionnelle, de nouvelles techniques sont dédiées a la sauvegardé et a la réhabilitation des monuments historique comme par exemple la technique de renforcement par matériaux composites qui a déjà fait ses preuves.

D’un point de vue scientifique, beaucoup de chercheurs se sont intéressées et s’intéressent a l’étude des comportements des structures italiens vu leurs intérêts culturels, sociaux et économiques pour la restauration et la sauvegarde de leur patrimoine architectural. Les résultats obtenus montrent que la ruine de ces constructions est gouvernée par le comportement de discontinuités telles-que les interfaces briques-mortier au niveau de ces interfaces se développent tous les phénomènes de non linéarité (endommagement, rupture, fissuration,..). ces raisons ont conduit l’intérêt de la communauté scientifique de se concentrer sur la modalisation de ces constructions mais plus particulièrement sur la modélisation des interfaces brique-mortier.

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 (HOUTI, 2002) :

• 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 LES DIFFERENTS TYPES DE MACONNERIE :

I.2.3.1 Introduction :

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

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

a) Maçonnerie de pierre naturelle :

La construction en pierre naturelle reste la base de la maçonnerie d'une façon générale. La pierre offre un matériau résistant présentant certains avantages économiques lorsque le lieu d'utilisation est proche du lieu d'extraction (voir figure I.1).



Figure I.1: mur en pierre naturel

b) Maçonnerie en agglomérés de béton :

Les agglomérés sont constitués d'agrégats (lourds ou légers) dont la cohésion est assurée par un liant hydraulique (voir Figure I.2).

Les agglomérés doivent satisfaire à certaines conditions et obéir à certaines exigences:

• Une bonne résistance mécanique.

• Une bonne résistance au gel.

• Une bonne isolation thermique et phonique.

• Assemblage facile dimensions et poids permettant un travail aisé.

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

Figure I.2: Les différents types de parpaing (BALANDIER, 1990)

c) Maçonnerie en briques d'argile cuite:

La brique à maçonner en terre cuite possède de remarquables propriétés de durabilité, de résistance, de stabilité, de régulation de l'humidité et d'inertie thermique. Grace à ces performances thermiques et phoniques, la brique à maçonner en terre cuite est adoptée par de nombreux systèmes de construction, tels que le traditionnel ≪double mur≫ ou utilisée en combinaison avec des matériaux isolants intérieurs ou

périphériques modernes. Les briques sont obtenues par cuisson de certaines argiles à une température d'environ 1000C. Par combinaison chimique à partir de 700 C, l'argile en perdant son eau, se transforme en terre cuite. L'oxyde de fer des argiles donne la coloration aux briques (BENMESSAOUD et CHEMROUK, 2008).

Généralement Il existe quatre types de briques :

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

1) Brique pleine :

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

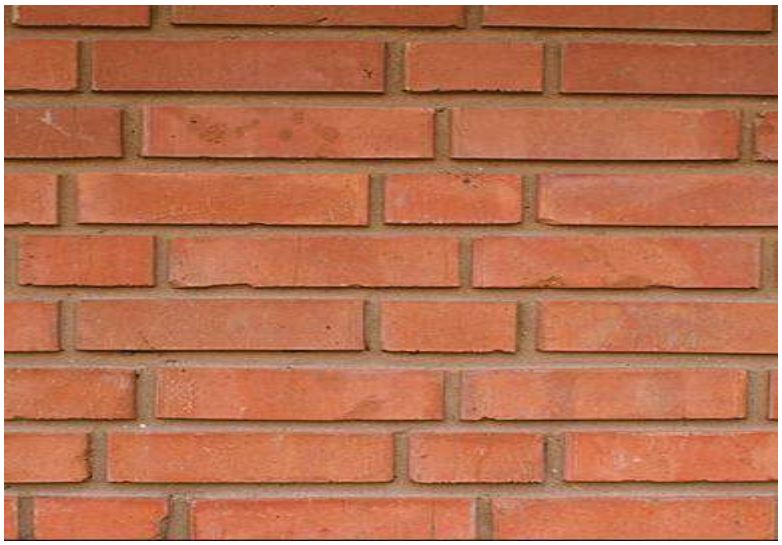




Figure I.3: Briques pleines (www.bricoman.fr)

2) Brique perforée:

Les briques perforées sont des briques où la perforation, apparait sur les grandes faces. De plus, leur format permet une mise en œuvre rapide (Figure 1.4).

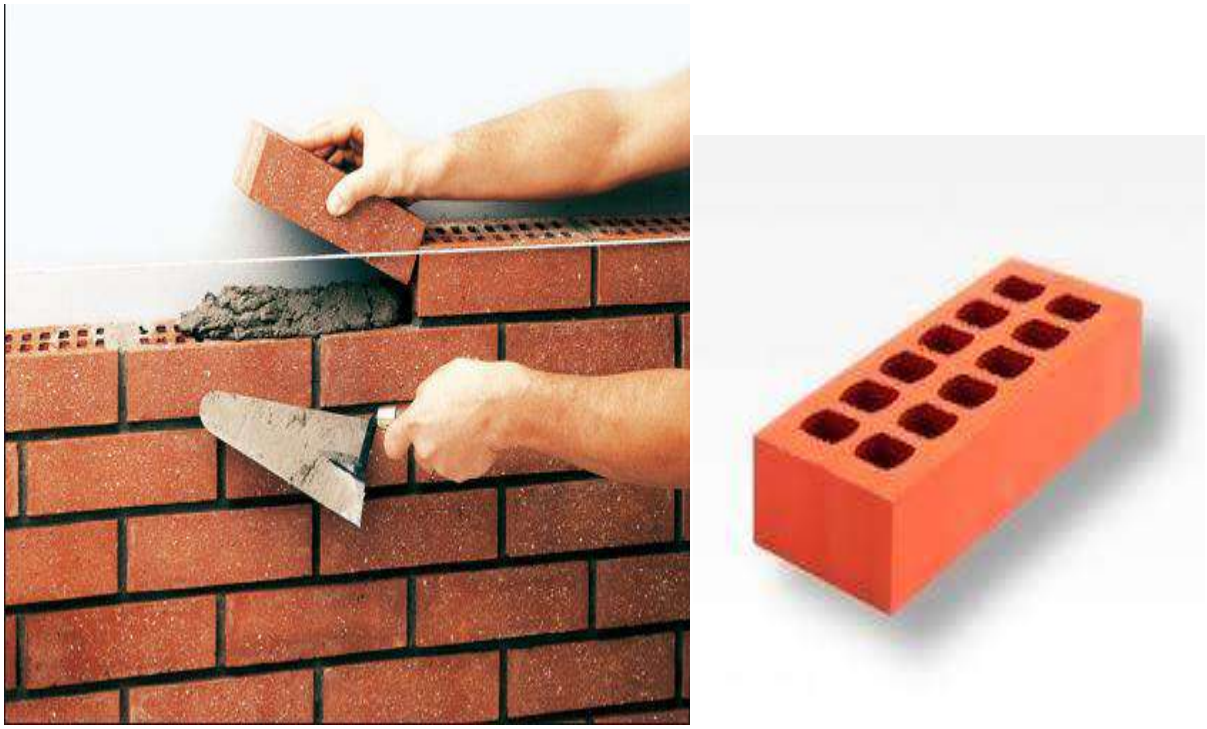


Figure I.4: Mur en briques perforées (www.wienerberger.fr)

3) Brique creuse :

Légère et économe en matériau en comparaison a une brique pleine, une brique creuse est conçue Pour une variété d'applications dont l'isolation, la ventilation, la construction de façades. Certaines briques creuses peuvent être remplies et disposer des barres de renforcement pour Améliorer la force de tension et de torsion d'une structure.

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

d'un bâtiment.

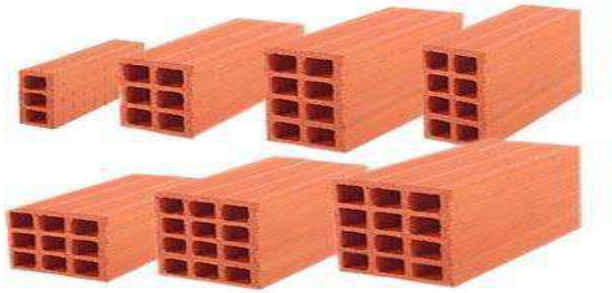


Figure I.5: Briques creuses de différents formats (www.ecopram.ma)

4) Brique mono mûr :

Les récentes évolutions techniques ont donné naissance à une brique particulière: la brique mono mûre. Beaucoup plus épaisse que les autres briques et transpercée de nombreuses alvéoles elle est utilisée essentiellement en murs extérieurs. Sa capacité à isoler aussi bien phonique ment que thermiquement. Elle se passe d'isolation, ce qui implique de casser pour passer les câbles électrique et la plomberie à l'intérieur.

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

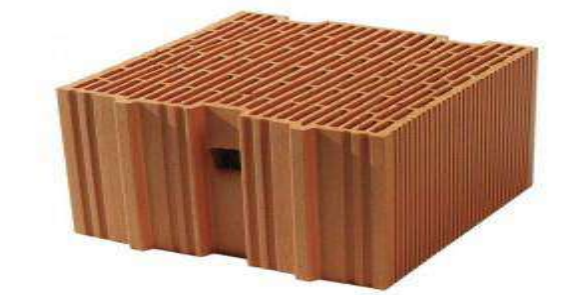


Figure I.6 : Brique mono mûr**.**

d) Maçonnerie en briques silico – calcaire :

La brique silico-calcaire est composée d'un mélange de chaux (8 – 10%), sable siliceux (90 – 92%) Et d'eau, sans adjuvant chimique, presse et durci. Lors de la fabrication des briques, la Température de durcissement s'élevé a 160 - 200° C

En plus de ses qualités thermiques et phoniques, elle a la possibilité de faire des économies importantes de matières premières (peut rester brute d'enduisage)car elle est très utilisée dans les Systèmes constructifs qui assurent un prix de revient plus bas que les autres matériaux tel que le Parpaing et la brique rouge



Figure I.7 : Maçonnerie en briques silico – calcaire.

I.2.4 LES MORTIERS:

I.2.4.1 Définition du mortier :

Mélange constitué le plus souvent de ciment ou de chaux, de sable, d'adjuvants éventuels et d'eau de gâchage. (On distingue les mortiers gras, contenant beaucoup de liant, par opposition aux mortiers maigres, et les mortiers bâtards, qui renferment un mélange de ciment et de chaux.

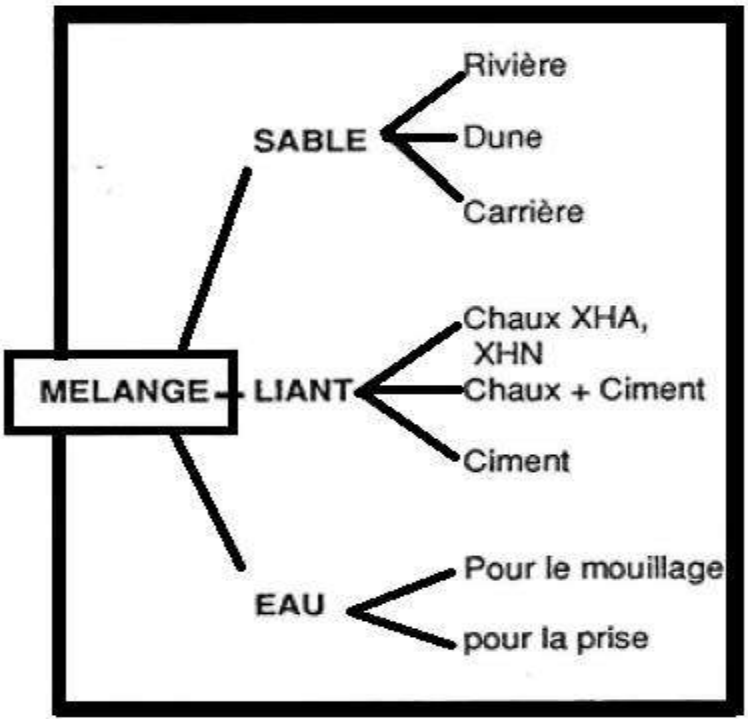


Figure I.8 : Constituants d'un mortier (CHERIF et KARA, 2013)

I.2.4.2.1 Types de mortier :

A. Le mortier-ciment

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau. Pour les jointements et les scellements, on peut envisager de se passer de sable. Ce matériau vous sera utile pour toutes les constructions classiques

(murs, chapes, etc.), qui ne nécessitent pas l'usage d'un mortier spécifique. L'avantage du ciment est qu'il profite d'une excellente résistance à la compression. Il sèche également plus vite que la plupart des autres solutions.

Voici quelques recommandations pour le dosage du mortier ou du béton, en fonction de vos besoins de constructions. Important : avant l'achat d'un sac de ciment, vérifiez les usages recommandés, et les conseils de dosage.

B. Le mortier hydrofuge :

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface.

Il permet de :

- ✓ Boucher des fissures,
- ✓ Enduire un mur,
- ✓ Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine.

Des maçons professionnels de votre région évaluent gratuitement votre chantier >>

C. Le mortier réfractaire :

Le mortier réfractaire est un mortier résistant aux hautes températures. Selon les préparations, il peut généralement résister à des températures de 900° ou moins.

En toute logique, il est uniquement utilisé pour les constructions qui sont exposées à ce type de températures, à savoir pour le montage et le jointement des :

- ✓ Foyers de cheminée,
- ✓ Des barbecues maçonnés.

D. Le mortier de chaux :

La chaux est l'un des liants les plus utilisés dans les anciennes constructions. À tel point qu'on utilise encore fréquemment des mortiers à la chaux.

Il faut dire que ce type de mortier permet au mur de mieux respirer et dispose également de capacités hydrofuges (idéales pour les pièces humides).

On trouve deux types de chaux :

- ✓ La chaux aérienne : elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air.
- ✓ La chaux hydraulique : elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air.

L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment.

E. Le mortier bâtard :

Ce nom qui peut sembler vulgaire désigne tout simplement un mortier qui utilise à la fois du ciment et de la chaux. L'intérêt d'ajouter de la chaux à un mortier en ciment est qu'elle rend le mélange nettement plus souple, et donc généralement plus facile à manipuler. L'inconvénient principal (mais qui n'en est pas toujours un !) est qu'un mortier bâtard met plus de temps à sécher qu'un mortier-ciment.

F. Le mortier-colle :

Citons enfin l'existence du mortier-colle. Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mortier adhésif, qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol. Ce matériau est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou

au sol, ou encore des dalles. Selon le mortier-colle choisi, l'utilisation peut se faire en intérieur et/ou en extérieur.

G. Mortier de plâtre :

Les mortiers du plâtre sont désignés généralement comme enduit de revêtement des maçonneries a l'intérieur des constructions. Parmi ces caractéristiques :
Isolation acoustique,
Isolant thermique ; le coefficient de conductivité thermique est de 0.87,Corrode le fer et l'acier, En raison de sa solubilité, le plâtre ordinaire ne peut être utilisé pour les extérieurs, sauf s'il est revêtu d'un enduit imperméable, une solubilité de 6.3g/l
Régulateur d'hygrométrique (anti-condensation) Son PH d'environs de 6 a6.5

Un enduit de plâtre, par sa structure monolithique, s'oppose a toute transmission de microbe et autres.

La résistance a la compression peut varie entre 50 et 100 kg/cm², suivant la qualité du plâtre employée. La résistance a la traction est de 5 a 10kg/cm².

I.2.4.2.2 Les classe de mortier:

Trois classes de mortier sont connues :

Le mortier M30, le mortier M5 et le mortier colle.

Les mortiers M30 et M5 conformément à la norme Européenne 998.2, sont destinés au montage de maçonneries de blocs de béton et le mortier colle au montage des maçonneries de blocs de béton cellulaire. Ces mortiers se distinguent par leurs compositions en ciment, chaux et sable et donc par leurs résistance mécanique:

• mortier M30 : il est caractérisé par une résistance à la compression supérieure à 30 MPa.

• mortier M5: caractérisé par une résistance à la compression supérieure à 5 MPA.

• mortier colle: il s'agit d'un mortier prêt à l'emploi adapté au montage des blocs de béton cellulaire.

Ses constituants principaux sont : ciment blanc, chaux grasse, sable siliceux et un rétenteur d'eau cellulosique.

I.2.4.3 Les constituants des mortiers :

a) Les ciments :

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant ou présence d'eau le ciment utilisé pour la confection du mortier est conforme a la norme NF P 15-301[1] le choix du ciment est fait a partir de sa classe de résistance, de ses caractéristique d'hydratation, de l'agressivité du milieu etc.… ; d'une façon plus générale, de composition du béton ou du mortier et de l'usage auquel on le destine. Pour bénéficier pleinement de l'activité hydraulique des fines d'addition on privilégiera souvent les CPA par rapport aux CPJ.Il existe 5 classes de ciment CEM1a CEM5 la plus couramment utilisé sont les CEM1 (33%de la production) et CEM2 (49%).

b) La chaux :

Les premiers traces de la fabrication de la chaux remontent a l'aube de la civilisation. Elle est utilisé pour le confection des mortiers liants les maçonneries de moellons ; son emploi a fait marque un tournant dans l'histoire de l'architecture en permettant le développement et la construction de voute dont les portées demeurent encore records. La chaux est une substance caustique solide, blanche lorsqu'elle est pure. Elle est

obtenue par calcination du calcaire CaCO3 et d'autres formes de carbonates de calcium. La cuisson de la chaux dure trois jours, les pierres calcaires sont calcinées a 900°/1000° La réaction de décarbonatation est la suivant :

CaCO3 CaO+CO2

Carbonate da calcium chaux vive gaz carbonique

On distingue 4 différents types de chaux :

- ✓ Chaux vive
- ✓ Chaux aérienne
- ✓ Chaux hydraulique
- ✓ Chaux artificielle

c) Le sable :

Le sable est une influence prépondérante sur la qualité des mortiers : il participe a la résistance, il donne la cohésion du mélange. Il provient de roches chimiquement inertes telles que : les calcaires durs, les granits et les quartzites.

Selon la norme NF P 18 304[2], on classe les sables en construction :

Les sables de 0.1 a 6.5 mm, Les graviers, types grains de riz de 4 a 10 mm jusqu'à 30 mm, pour les matériaux roulés, Les cailloux, supérieurs a 30 mm.

d) L'eau de gâchage :

L'eau employée pour le gâchage du mortier doit répondre aux prescriptions de la norme NF P 18-303, [3] l'eau potable convient ».L'eau dans les mortiers assure au minimum deux rôles essentiels ; la plasticité du mélange et l'extinction de la chaux. Elle devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques.

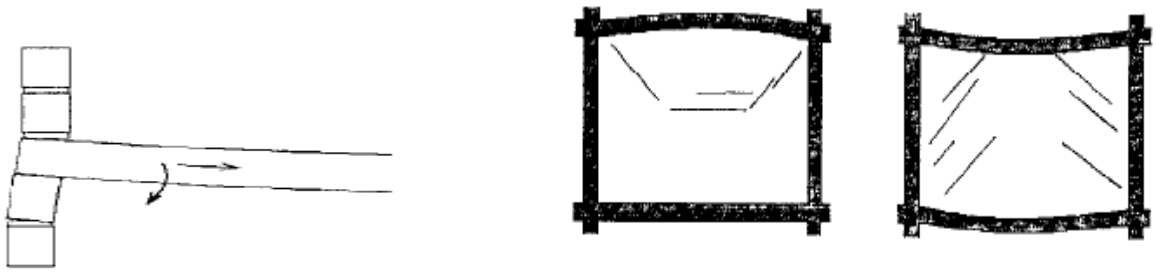
e) Les ajouts :

Les adjuvants sont utilisé, en générale, pour leurs propriétés plastifiants et fluidifiants (diminuer la quantité d'eau ajoutée, améliorer l'ouvrabilité, augmenter la résistance mécanique, etc.) Sans profits de certaines qualités de durabilité Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité est une bonne technique qui permet habituellement d'obtenir une maçonnerie solide, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse qui ne peut pas être corrigée par l'emploi d'adjuvants.

I.3 DEFAUTS DANS LA MAÇONNERIE:

Le dimensionnement de la maçonnerie doit assurer sa résistance contre les sollicitations sous charge et actions indirectes qu'il cause des défauts dans la maçonnerie, parmi ci défauts:

a) Mouvement des dalles.



Retrait de dalles posées à l'état frais Fléchissement des dalles

Figure I.9 : Défauts causés par le Mouvement des dalles (www.paysdecernes.org)

b) Mouvements de dilatation thermi

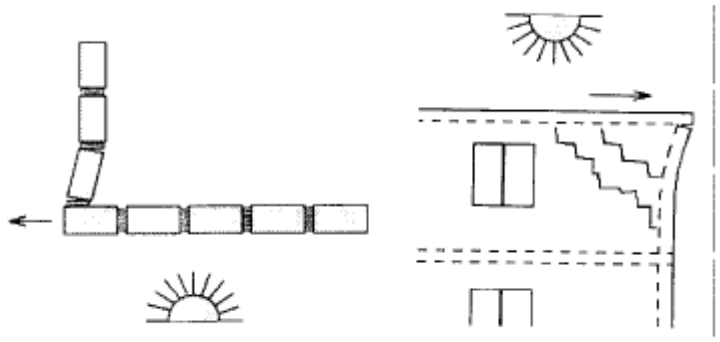


Figure I.10 : Mouvements de dilatation thermique (www.paysdecernes.org)

c) Fissures le long des fenêtres

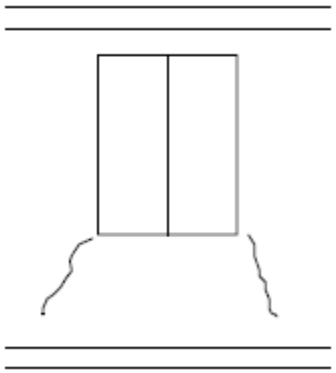


Figure I.11 : Fissure le long des fenêtres (www.paysdecernes.org)

I.4 Fonctionnalités et pathologies de la maçonnerie

I.4.1 Fonctionnalités de la maçonnerie

La maçonnerie a de différents avantages fonctionnels dont la personne a besoin, La figure 1.12 représente quelques fonctionnalités de cette dernière :

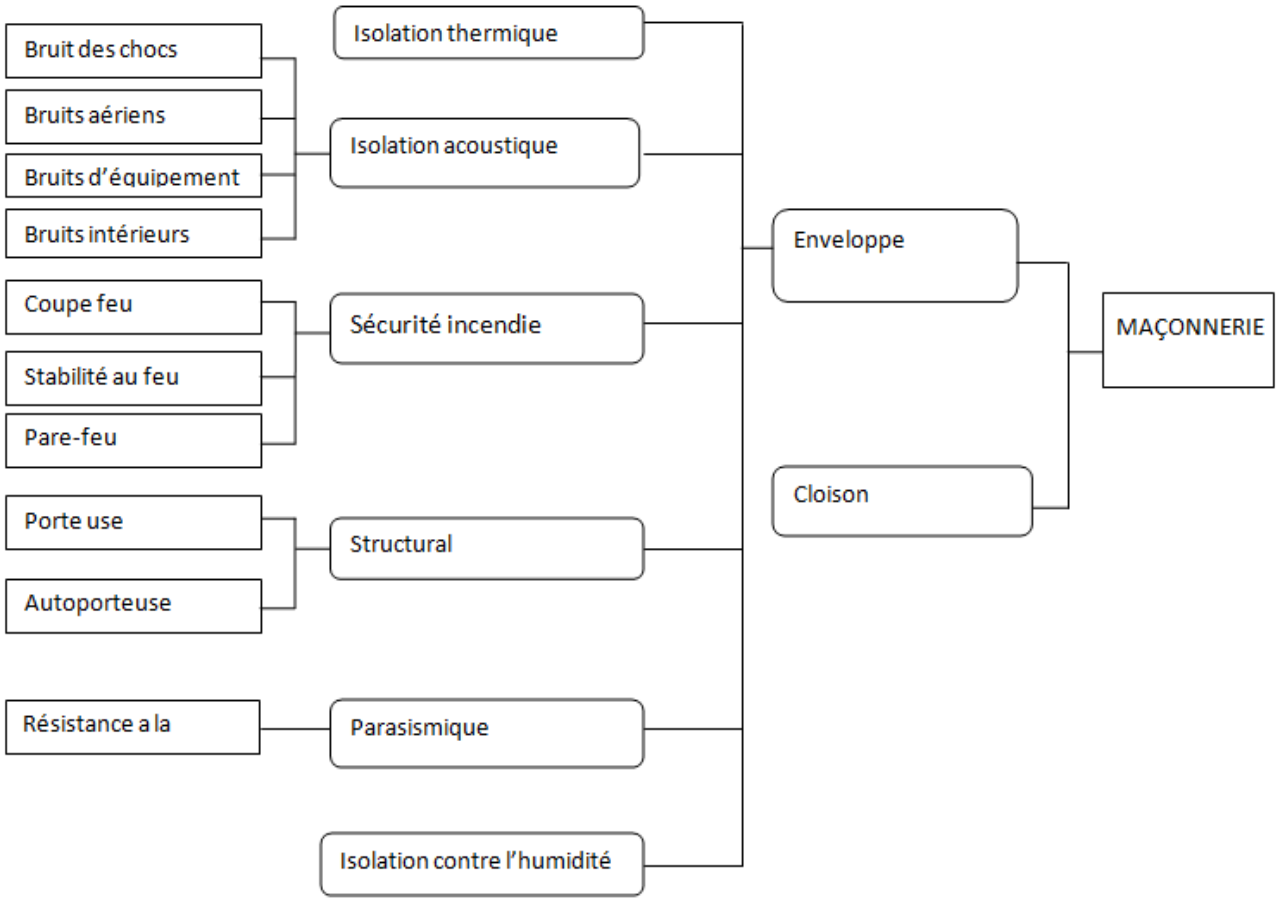


Figure I.12: fonctionnalité de la maçonnerie (GHANEM, 2013)

I.5 PATHOLOGIES DE LA MAÇONNERIE:

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

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

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

I.6 Les propriétés mécaniques de la maçonnerie :

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

I.6.1 MODE DE RUPTURE DE LA MACONNERIE

Le comportement des portiques remplis de maçonnerie est défini par les différentes modes de rupture cite ci-dessous (voir figure I.13).

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.

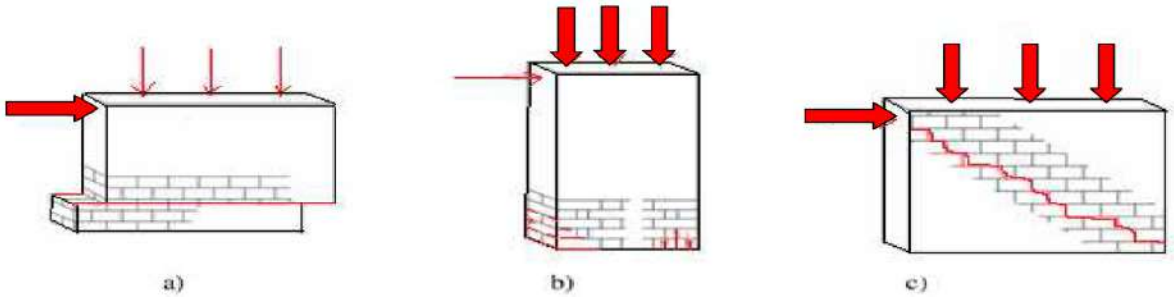


Figure I.13 : Comportement des murs remplis de maçonnerie (GHANEM, 2013)
(a) : rupture par glissement, (b) : rupture par basculement, (c) : rupture par cisaillement.

I.6.2.1 Comportement sous sollicitation de compression uni axiale :

La résistance a la compression des maçonneries dans la direction normale aux joints horizontaux est généralement considérée comme le seul critère qui permette de définir la résistance globale de la structure qui est un matériau composite. Les essais usuels qui sont utilisé pour obtenir cette résistance a la compression uni-axial sont présentés sur la figure14

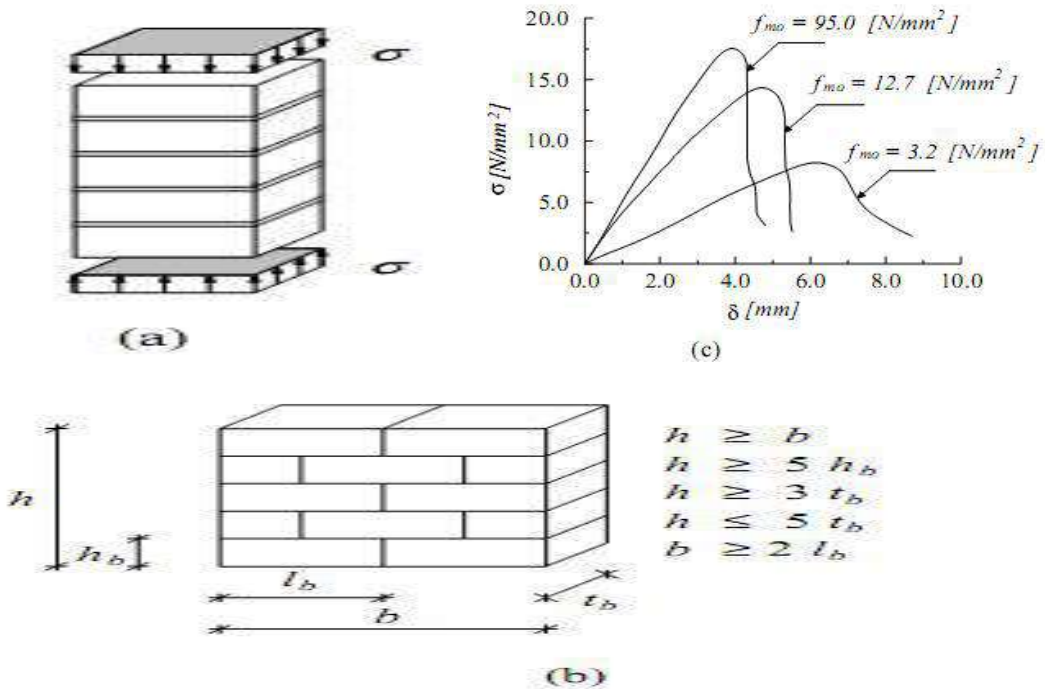


Figure I.14 : comportement de la maçonnerie sous l'effet d'un effort normal aux joints horizontaux. **a)**cas d'un empilement simple de briques. **b)** spécimen **RILEM**. **C)** diagramme contrainte [4]

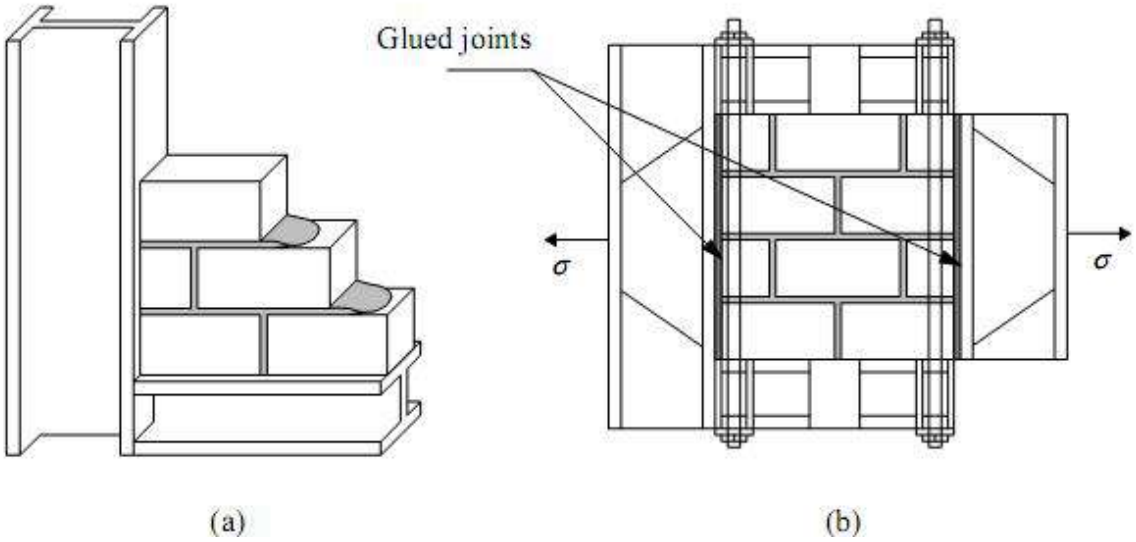
Le premier cas représenté est un essai sur une pile de brique **(a)** qui reste un essai peu représentatif de la maçonnerie du fait de la résistance de l'échantillon pendant l'essai[5] le deuxième cas d'essai montré la figure **(b)** est appelé essai de **RILEM**[4]. Le spécimen **RILEM** est assez large et représentatif, depuis les travaux de Hilsdorf [6], il a été accepté par la communauté scientifique que la rupture des structures maçonnées est induite essentiellement par la différence des propriétés mécaniques entre les briques et les joints de mortier.

La compression uni-axiale de la maçonnerie conduit a un état de compression triaxiale dans le mortier et à une compression et à une traction bi-axiale dans les éléments de briques. D'après [5] que des fissures verticales apparaissent initialement sur les briques tout au long de la ligne médiane du spécimen, qui se continue au niveau des de mortier verticaux. Avec l'évolution des déformations, les fissures verticales apparaissent de pus en plus, ce qui conduit a la rupture du prisme par une cassure au milieu de celui.

I.6.2.2.Comportement en traction uni-axiale de la maçonnerie :

Traction de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers :

Pour une structure maçonnée soumise a une charge de traction parallèle aux joints de mortier, la rupture est généralement causée par le découlement entre le brique et le mortier.



La

Figure. I.14 : Essai de traction dans la direction parallèle aux joints horizontaux.

a) Phase de construction. b) Dispositif de l'essai de traction.

Lorsque le résistance a la traction des briques est plus faible que l'adhérence entre ces dernies et le mortier.

Deux différents types de fissurations sont possibles, elles dépendent de la résistance Relative des joints de mortier et des briques ;

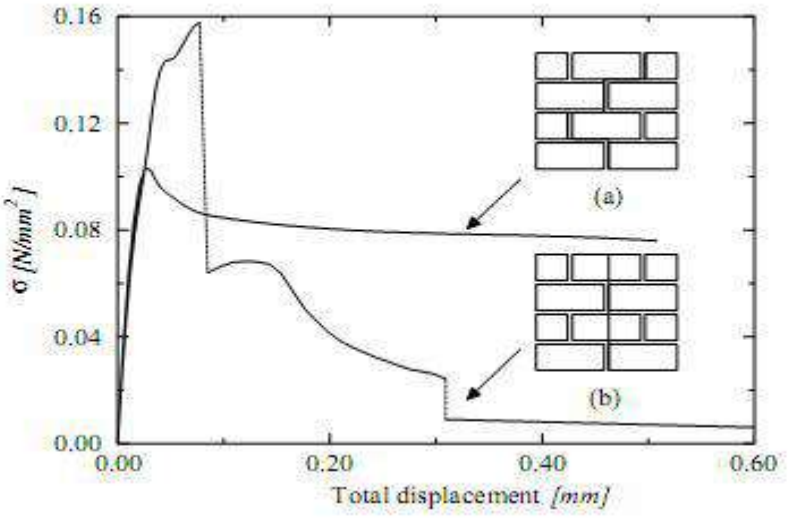


Figure. I.15: Diagramme contrainte -déplacement pour un essai de traction suivant la direction parallèle aux joints horizontaux : a) Rupture induite par le glissement dans les joints horizontaux et une perte d'adhérence dans les joints verticaux b) Rupture totale des joints et des briques. D'après [7].

I.6.2.3.Comportement bi axial de la maçonnerie :

Le comportement constitutif de la maçonnerie sous états bi axiaux de contraintes ne peut pas être complètement décrit comportement constitutif sous conditions du chargement Uni axiale. L'influence de l'état de contraintes bi axial a été étudiée pour atteindre une valeur maximale dans le but de fournir une enveloppe bi axiale de la contrainte qui ne peut être décrite uniquement qu'à partir des contraintes principales, parce que la maçonnerie est un matériau anisotrope. Par conséquent, l'enveloppe de résistance bi axiale de la maçonnerie Doit être décrite à partir des vecteurs des contraintes dans un ensemble fixé de matériau ou, À partir des contraintes principales et l'angle de rotation entre les contraintes principales et les axes du matériau. Les essais bi axial exécute sur les panneaux des maçonneries sont les représentées sur la figureI.16.

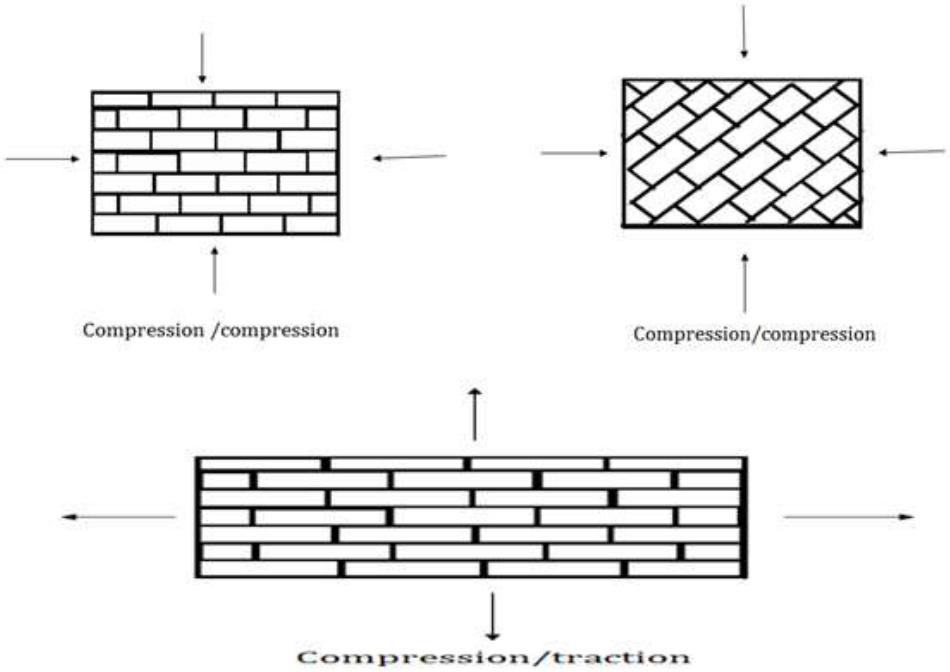


Figure. I.16: Essai bi axial sur des panneaux de maçonnerie. D'après [8],[9]

Ces testes ont été effectués sur des prismes représentatifs en briques a bas d'argile.

L'orientation des contraintes principales par rapport aux axes du matériau et le rapport des contraintes principales influent considérablement sur le mode de rupture et bien évidemment sur la résistance ; les différents modes de ruptures sont illustrés par la figure 17

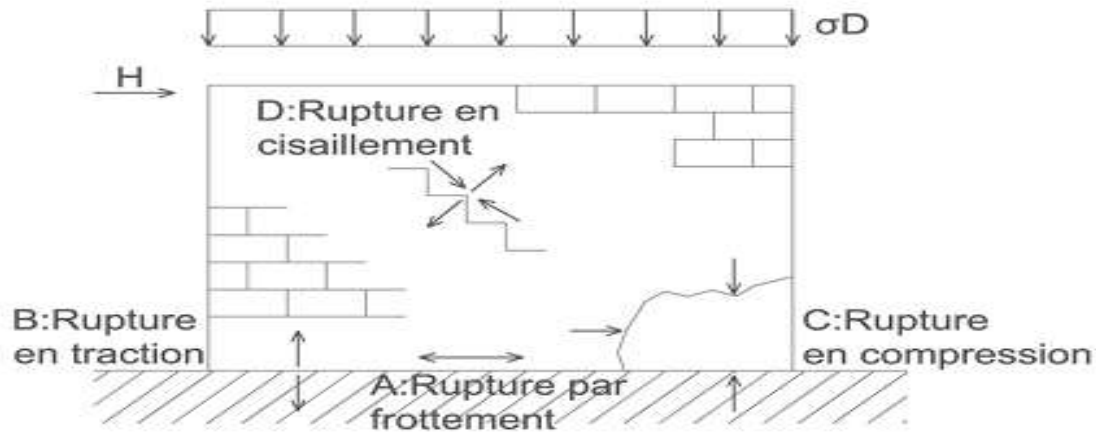
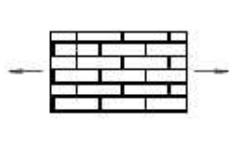
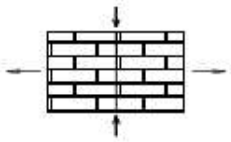
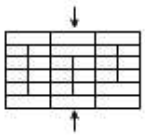
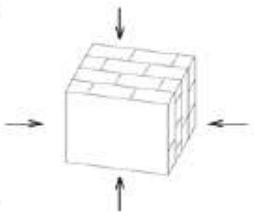
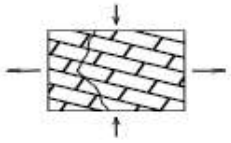
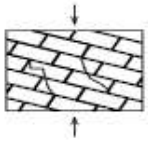
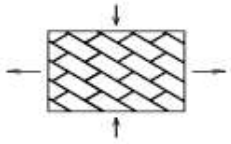
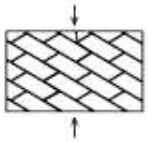
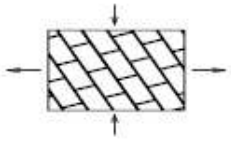
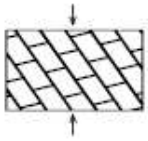
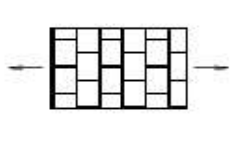
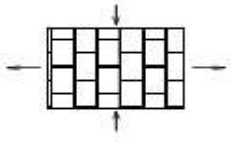
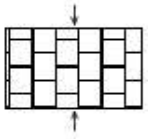


Figure I.17 : Modes de rupture d'un mur en maçonnerie soumis un chargement bi axial

Tab. 1.1 – Modes de rupture d'une maçonnerie constituée de briques à base d'argile soumise à un chargement bi axial. D'après [10]

Angle θ	Traction uniaxiale	Traction/ compression	Compression uniaxiale	Compression biaxiale
$\theta = 0^0$				Rupture au milieu 
$\theta = 22,5^0$				
$\theta = 45^0$				
$\theta = 67,5^0$				
$\theta = 90^0$				

I.6.2.4. Comportement en flexion des murs en maçonnerie :

A. Flexion uni-axiale

Le comportement hors plan est essentiellement une conséquence du comportement dans le plan. En effet, un exemple simple, la résistance d'une poutre sous flexion 3 ou 4 points est la conséquence de la résistance à la traction par flexion. Normalement, la résistance à la traction par flexion est plus importante que celle obtenue sous traction directe.

Le comportement non linéaire de maçonneries sous traction directe a été étudié par Pluijm (PLUIJM, 1997). Il est noté que le comportement hors plan est considéré plus fragile que celui dans le plan, et donc plus difficile à caractériser expérimentalement ; mais aussi numériquement.

La stabilité des murets en maçonnerie de brique, chargés latéralement dépend de leur résistance à la traction par flexion. Cette résistance dépend des facteurs qui conditionnent l'adhésion brique mortier. Si un mur est appuyé horizontalement sur sa barre supérieure et inférieure, sa résistance Latérale dépend de la résistance à la traction par flexion développée à travers le joint. Si en plus, il est appuyé latéralement sa résistance latérale dépend aussi de sa résistance à la traction par flexion développée le long de la direction perpendiculaire au lit de joint (voir figure I.18).Cette résistance est généralement trois fois plus grande que celle à travers les joints si l'adhésion (mortier-brique) est bonne. La résistance à la flexion parallèle au lit du joint est conditionnée par la résistance à la traction par flexion des briques. Si l'adhérence est mauvaise, cette résistance est conditionnée principalement par la résistance au cisaillement développée dans le joint à l'interface brique-mortier (PAGE et HENDRY, 1987).

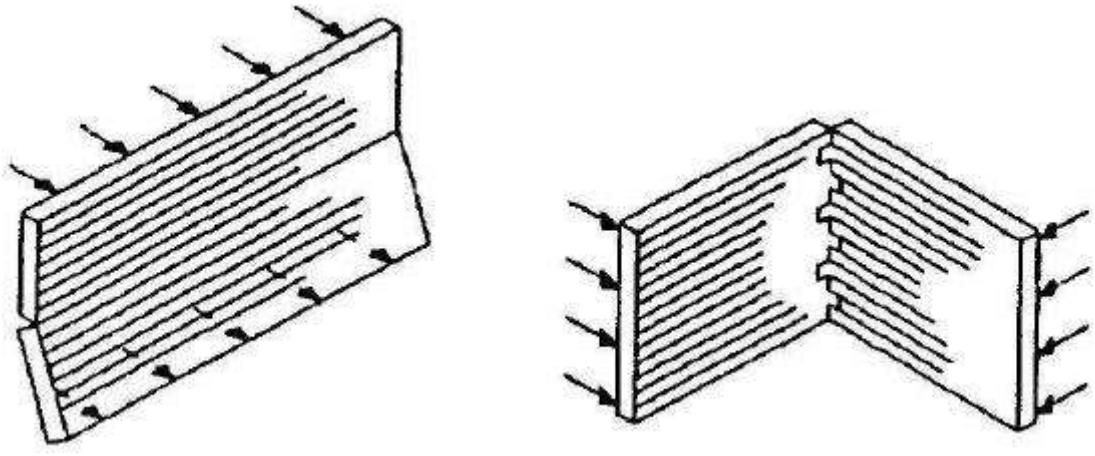


Figure I.18 : Comportement à la flexion des murs en maçonnerie (NF EN 1996-1-1,2006).

(a): Rupture le long de la ligne perpendiculaire aux lits des joints

(b): Rupture le long de la ligne parallèle aux lits des joints.

En particulier le comportement de la maçonnerie dans la direction de la flexion verticale est très complexe. En effet, pour la flexion horizontale, on n'observe qu'un seul mode de rupture, la ligne de fissure apparait dans les joints d'assises (joints horizontaux) (Figure. 1.19a). Tandis que pour la flexion verticale, deux modes de rupture, qui dépendent des résistances relatives des constituants de la maçonnerie, sont possibles. Le premier traduit une rupture ou « ligne de fissure» en adéquation avec une vision homogénéisée du milieu (Figure1.19b), l'hétérogénéité du milieu n'est pas mise en exergue. Le second se traduit par une ligne de rupture en escalier, sous forme de zigzag ou forme dentée (Figure. 1.19b). Ce second mode traduit clairement la discontinuité du matériau, l'échelle de la brique constitutive et celle du mortier sont clairement identifiées. Pour les murs dont la résistance d'adhérence du mortier est relativement forte par rapport à la résistance des briques constitutives, la ligne de rupture va avoir tendance à apparaître comme une fissure verticale au travers des briques et des joints verticaux (Figure. 1.19c). La rupture de type zigzag alterne la propagation de fissure le long d'un joint vertical puis le long d'un joint d'assise (Figure. 1.19b).

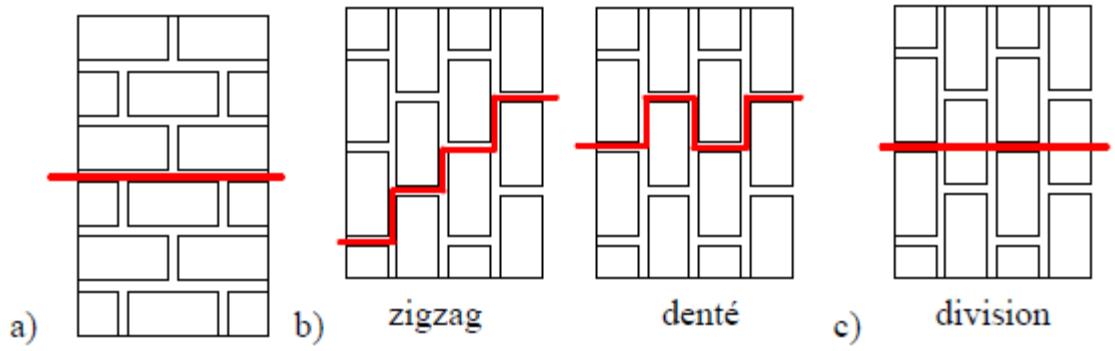


Figure. I.19 : Modes de rupture sous flexion uni-axiale : a) flexion horizontale .
b) flexion verticale Zigzag, denté) ; c) flexion verticale (division) (GAZZOLA, 1986)

B. Flexion bi-axiale

Un mur travaille à la flexion bi-axiale lorsqu'il est en appui sur 3 ou 4 de ses extrémités ou bords (Figure. 1.20) (DRYDSAKE et coll., 1988), ou bien lorsqu'il porte sur 2 bords adjacents.

Le mécanisme de rupture des murs sous flexion bi-axiale est très complexe car sous cette condition de charge, la distribution du moment de flexion n'est pas monotone ; mais varie à travers le panneau. Les modes de rupture caractéristiques dépendent, des dimensions du panneau, des conditions aux limites, ainsi que des résistances relatives des unités (briques, blocs) et joint d'adhésion ou mortier**.**

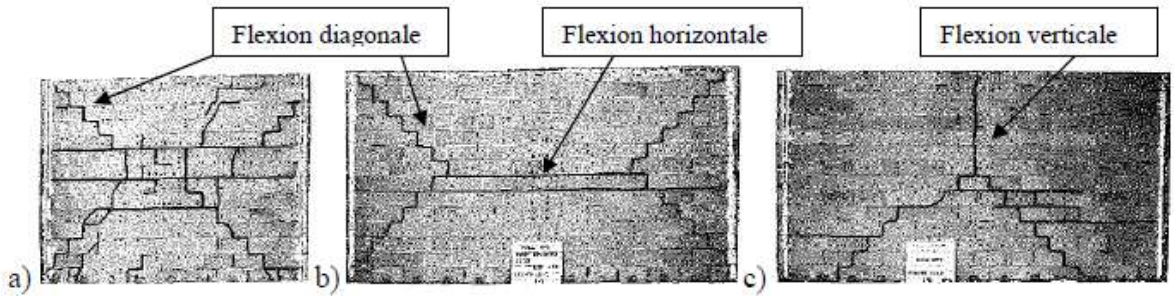


Figure. I.20 : Modes de rupture des murs : a)et b) mur supportés sur 4 bords ; c) mur supportés sur 3 bords (DRYSDALE, 1988).

I.6.2.4 Comportement de la maçonnerie au cisaillement :

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.

Si la rupture hors plan se produit, la résistance de la structure sera influencée par le comportement dans le plan des murs en maçonnerie.

A cause du rapport hauteur/largeur du mur en maçonnerie inférieure ou égale à 2, des contraintes de cisaillement considérables se développent et favorisent le comportement

fragile du mur en maçonnerie. Le comportement fragile des briques et du mortier réduit la capacité de dissipation de l'énergie de la maçonnerie.

La connaissance des paramètres qui gouvernent le comportement au cisaillement de la maçonnerie qui est considérée comme un matériau composite constitué de briques et de joints de mortier, est très importante.

L'évaluation des paramètres qui influent sur le comportement global de la maçonnerie n'est pas simple, c'est pour cela la maçonnerie est toujours supposée être un matériau élastique isotrope selon Eurocode6 AFNOR; 1996.

L'évolution de la technique des éléments finis permet une analyse plus raffinée. Une approche intéressante développée par. Houti E.B et al (2004) qui considère le joint de mortier comme l'élément le plus faible de la maçonnerie au niveau duquel tout type de déformations prend place. Le joint de mortier est modélisé par un élément d'interface dans le but de décrire le comportement en compression, traction et cisaillement.

L'évaluation de la résistance des maçonneries due aux efforts de cisaillement permet de prévoir et estimer la stabilité de la structure.

I.6.3.Modes de rupture dus au cisaillement dans le plan du mur :

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

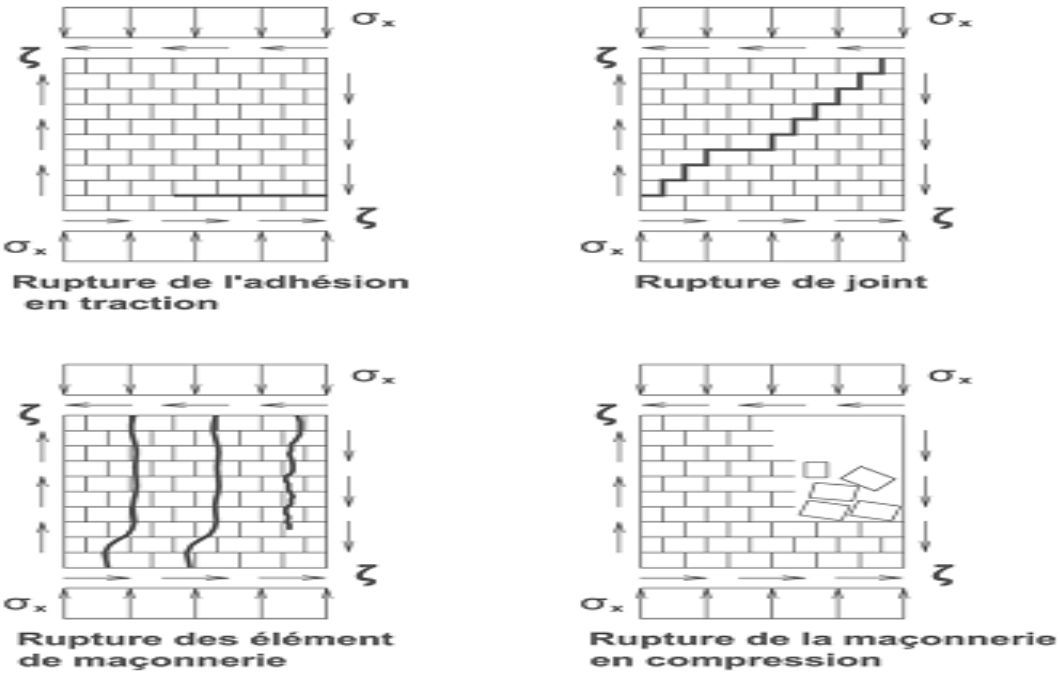


Figure I.21 : Modes de ruptures pour un mur en maçonnerie sous l'effet d'un effort de cisaillement [11]

Modes de ruptures pour un mur en maçonnerie sous l'effet d'un effort de cisaillement

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 **[12],[11]**

I.6.3.1.Travaux effectués sur le cisaillement

A. Travaux De Miha Tomazevic

MIHA TOMAZEVIC (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 1.22 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_{vk0} sont présentés dans le tableau 1.2.

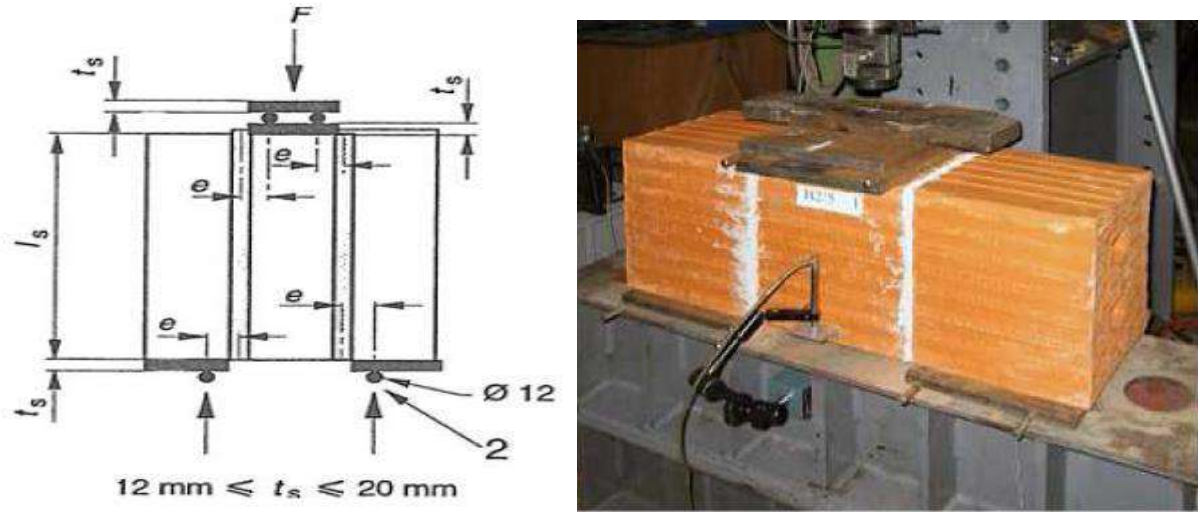


Figure I.22 : Test de résistance du cisaillement initiale selon l'ASTM EN 1502-3 (MIHA, 2008)

Tableau I.2: Les valeurs caractéristiques f_{vk0} suivant l'eurocode 6 et les valeurs trouvés expérimentalement par MIHA TOMAZEVIC (MIHA, 2008).

unités	Charge de compression (KN)	Résistance au cisaillement(MPa)			
		5 MPa		10 MPa	
		f_{vk0}	f_{vk}	f_{vk0}	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

B. 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).

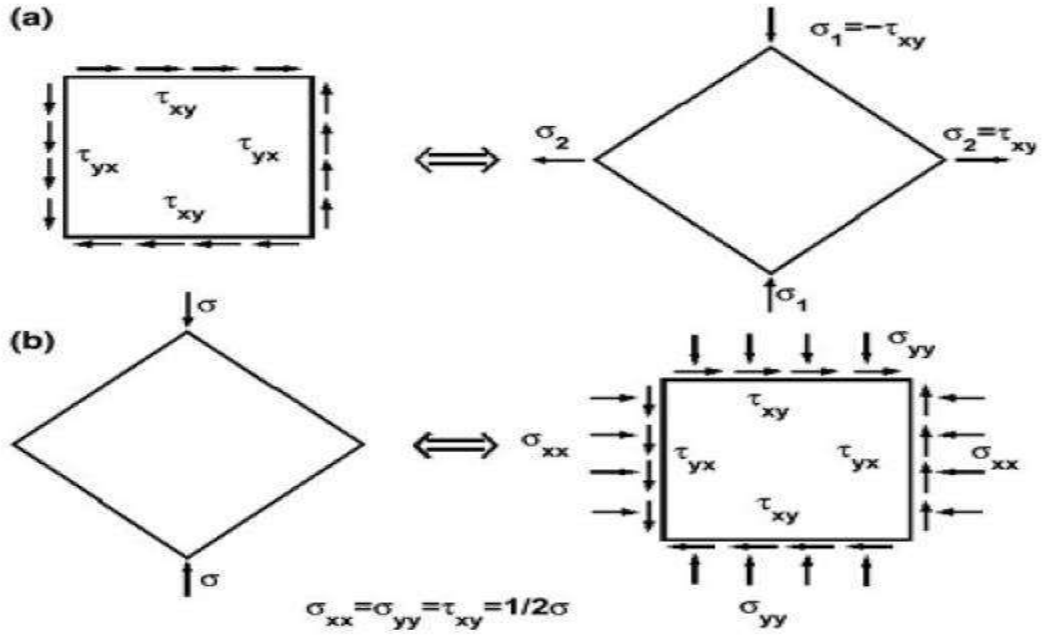
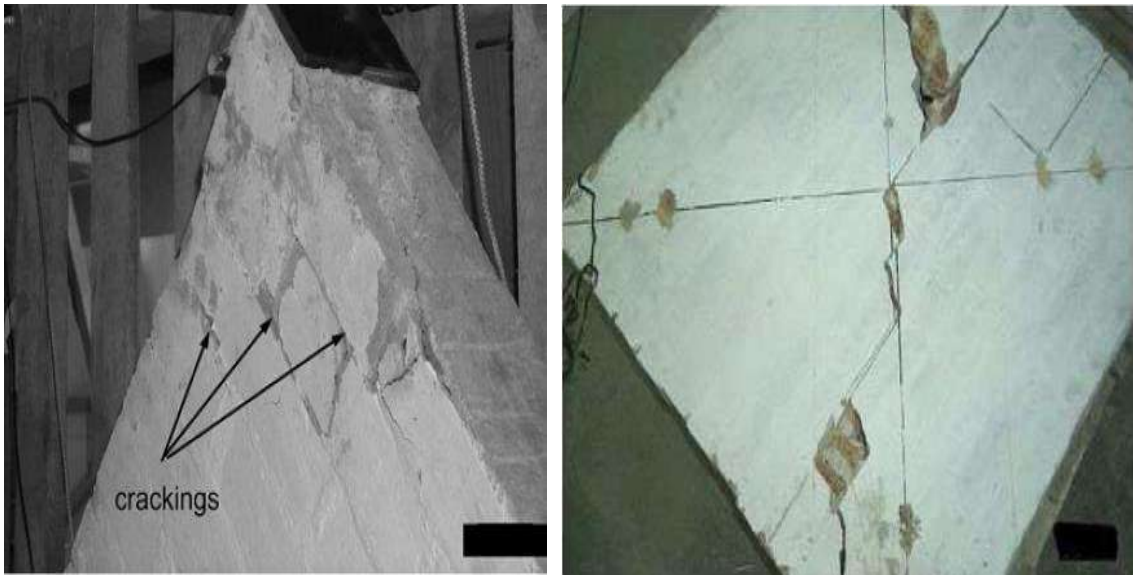


Figure I.23: Dispositif de l'essai (Gabor, 2006) . a)Panneau carré homogène soumis à la contrainte de cisaillement pur. b) L'état de stress généré dans un panneau carré soumis à la compression diagonale.

❖ **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.24: Résultat des essais.

C. 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.

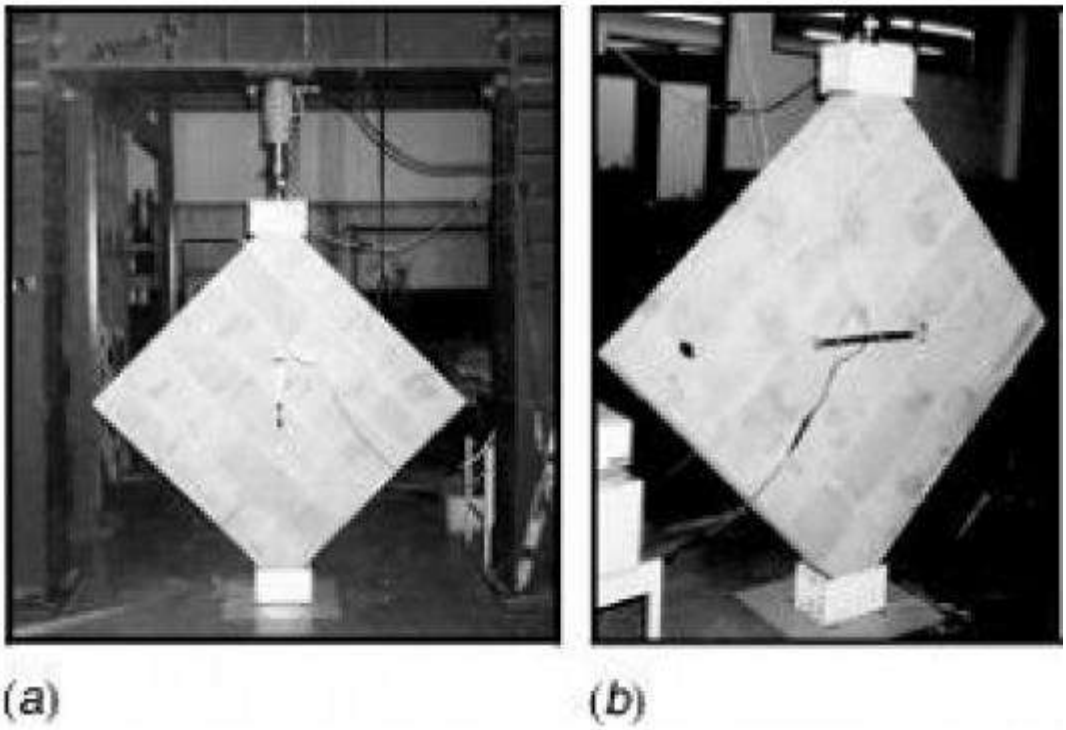


Figure. I.25: Configuration du test sur les murs (ASTM E 519-02, 2012)

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

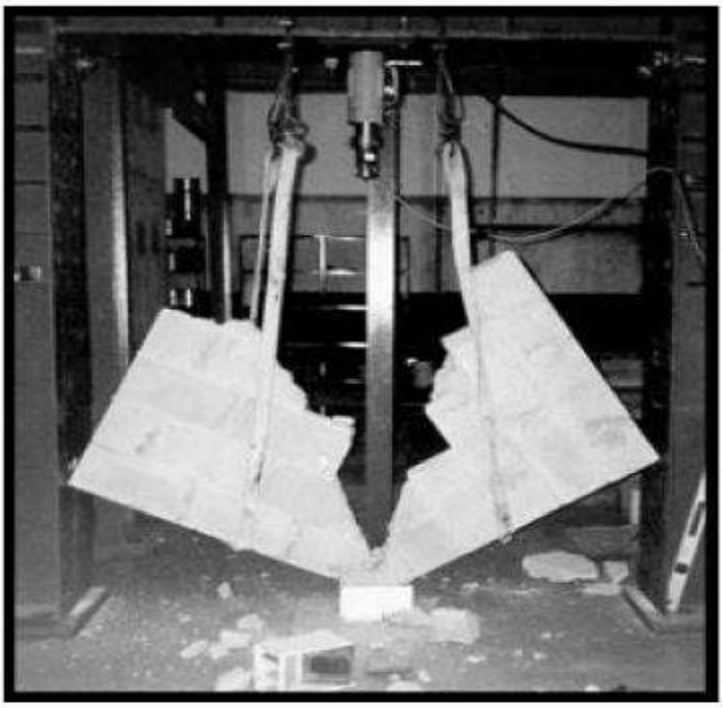


Figure. I.26: Résultat de l'essai de cisaillement (ASTME519-02, 2002)

D. 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.

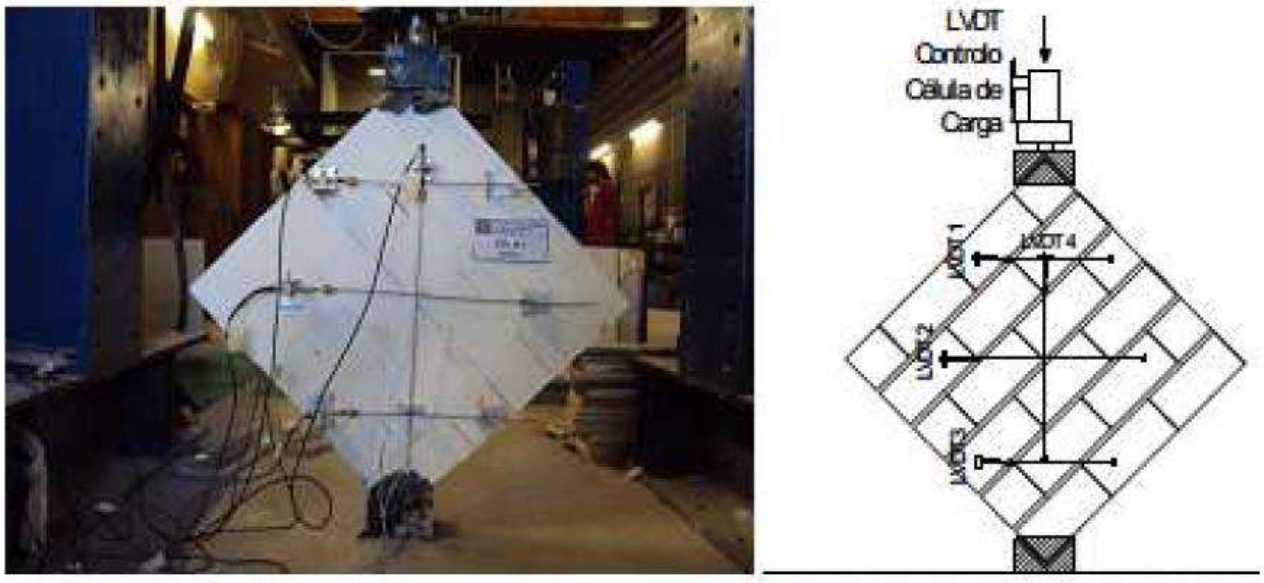


Figure I.27: Dispositif de l'essai (Vasconcelos, et al., 2012)

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



Figure I.28: 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	4.05

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.

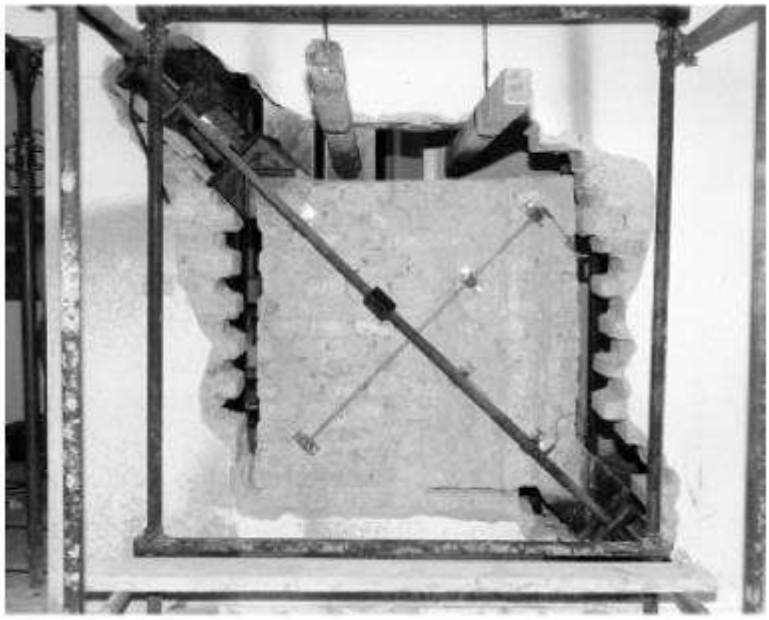


Figure I.29: Test d'un mur en diagonale (CORRADI et AL, 2003).

I.7.Le renforcement des structures

Le renforcement des structures anciennes doit trouver une solution aux problèmes de structure. L'intervention dans une structure a l'objectif d'augmenter la résistance d'un élément structurel endommagé et d'assurer la stabilité et la rigidité.

Les études expérimentales visent à tracer l'effet de l'application de techniques de renforcement en variant les matériaux de renfort et leur quantité, ainsi que les zones renforcés. Alors que les études de l'analyse numérique de la structure permettent de prédire les zones de rupture et les déformations qui accompagnent les charges appliquées. En se basant sur les résultats de l'analyse numérique, une technique de renforcement appropriée pourra-t- être choisie.

I.7.1Techniques et matériaux utilisés

I.7.1.1 Renforcement traditionnel

Dans le renforcement traditionnel de structure de maçonnerie, des matériaux et des techniques traditionnels ont était souvent utilisées pour renforcer la structure existante. La structure de maçonnerie contient des éléments qui aident à redistribuer les charges dans les zones de concentration de contraintes dans les murs.

Par exemple, les ouvertures sont renforcées avec des chaînages verticaux qui sont reliées avec un arc de décharge. L'arc de décharge permet de distribuer les charges verticales vers les côtés de l'ouverture. Les ouvertures sont aussi renforcées avec des éléments tels que le linteau (composé d'un seul morceau de pierre) et la plate-bande (qui se compose de plusieurs morceaux de pierre). Le linteau peut être accompagné par un arc de décharge pour limiter les charges sur le linteau. L'utilisation du linteau ou de plate-bande nécessite d'avoir des sommiers très résistants sur les côtés.

Si le mur est épais, une baie de fenêtre ou de portes s'effectue en faisant des portions de voûtes appelées les arrières voussures Figure I.31. Les arrières voussures sont de forme d'arc et leur intersection avec la face arrière du mur prend la forme d'un arc ou

d'une droite. Les ouvertures ont été bouchées dans les murs traditionnels pour les renforcer dans le cas d'une faiblesse dans l'arc de décharge.



(a) arc de décharge (b) arrières voussures plate-bande

Figure I.30: Renforcement des ouvertures des éléments de maçonnerie

De plus, l'intersection entre deux murs s'établie avec un chaînage d'angle qui assure la rigidité de la connexion. Le chaînage d'angle subit des forces de tractions qui viennent des murs connectés et il travaille comme un tirant. Dans le cas d'un manque de stabilité dans la maçonnerie, le renforcement se fait en construisant des sous structures tel que les contreforts.

L'objectif de construire un contrefort est de diminuer la déformation latérale de la structure. Les contreforts prennent la forme d'escalier de contrefort, arc de contrefort, ou mur de contrefort. D'une autre côté, l'utilisation des tirants dans les murs vise à relier deux murs opposés subissant un écartement. Cette technique est utilisée dans les zones de tremblement de terre ou d'effondrement de sol. A l'extrémité de chaque tirant, il existe des pièces métalliques appelées ancres ou clef, elles représentent les appuis des tirants. Le bois était utilisé dans le renforcement des murs pour réduire le déplacement latéral et les déformations hors plan. Des planchers en bois ont été fixés sur la surface du mur dans la direction des diagonales. Le bois a été aussi utilisé pour renforcer les planchers par des poutres.

I.7.1.2 Renforcement métallique ou avec du béton armé

❖ Construction de sous-structures

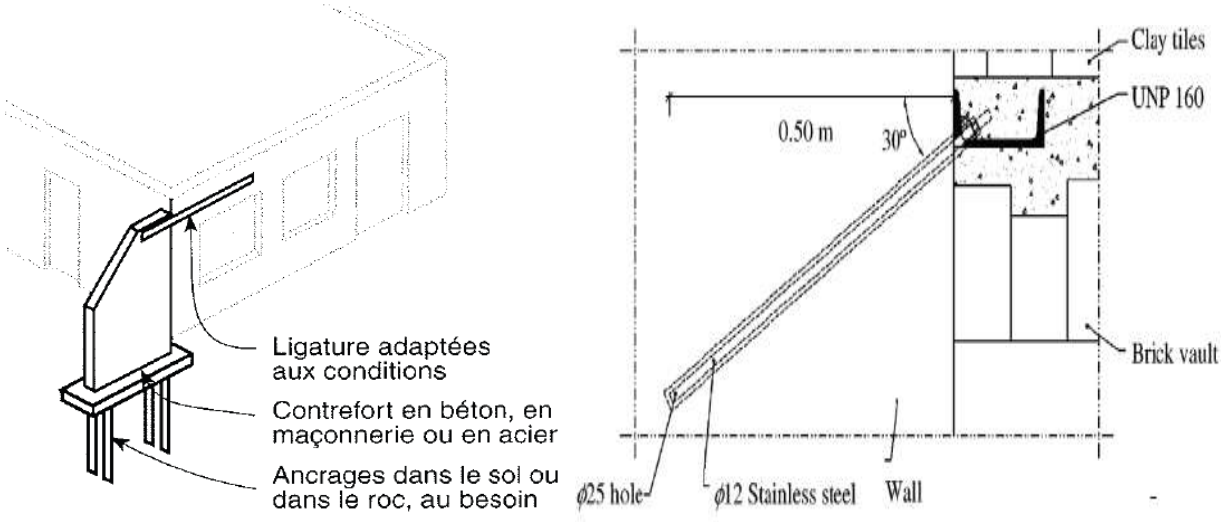
L'utilisation de l'acier dans une sous-structure métallique se présente sous la forme d'ossatures contreventées, cadres ou angles de fixation. C'est une solution de renforcement sismique face à la flexion et au cisaillement qui permet d'améliorer la rigidité et la résistance de la structure. Par exemple, ce renforcement a été utilisé dans la cathédrale Saint Christ à Outerio, Portugal [13].

De plus, l'utilisation de béton armé dans le renforcement permet de construire des murs de cisaillement, construire un contrefort extérieur et de confiner des éléments comprimées [14].

Il est nécessaire d'attacher le renfort à la structure de maçonnerie et de le fixer au sol par un ancrage Figure I.32.a.

❖ Ancrage de la pierre

L'ancrage de la pierre permet d'assurer la continuité de transmission de charges entre deux éléments de la maçonnerie ou entre un élément de la maçonnerie et son renfort **[13]**. Il consiste à introduire une barre d'acier dans la pierre de structure afin d'assurer cette liaison. L'espace autour de la barre engagée est rempli par l'injection d'un adhésif (mortier, époxy…) pour garantir la cohésion entre la barre et la structure de la maçonnerie. La profondeur, l'inclination et le diamètre de la barre sont des paramètres liés à la charge appliquée et à la nature de l'élément de la structure. Figure 1.32.b.



(a) sous-structure de contrefort [14] (b) ancrage de la pierre [13],

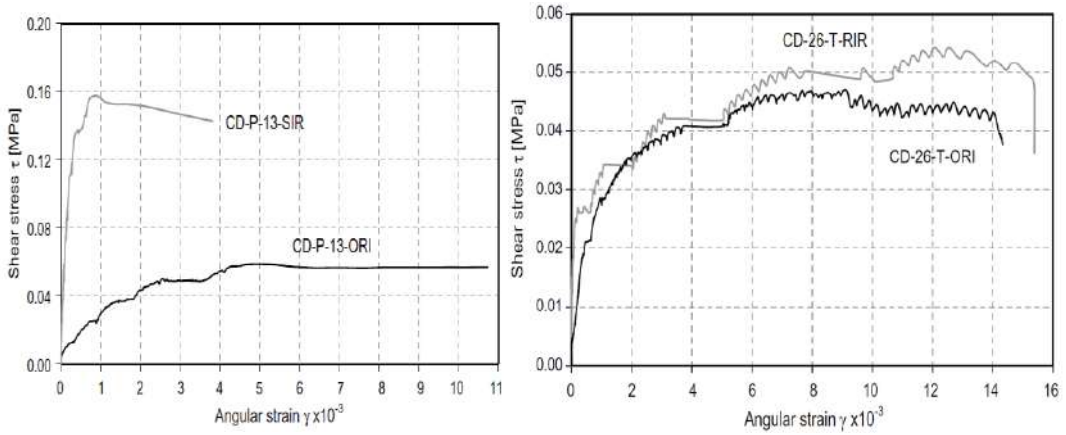
Figure I.31 : Renforcement de la maçonnerie avec contrefort et ancrage de la pierre.

❖ Renforcement dans les joints de mortier

Le renforcement de la maçonnerie dans les joints s'effectue avec des techniques et des matériaux différents ; barres, câbles ou grillage métallique Valluzzi et al. 2005 **[15]**, Borri et al, 2011, **[16]**. L'application du renforcement dans les joints permet d'endommager dans une moindre mesure la surface de la structure et de protéger le renfort des conditions environnementales. De plus, le renfort est confiné dans les joints, ce qui augmente l'adhésion entre l'élément-renfort et améliore l'efficacité du renforcement. Le remplacement du mortier de surface dans le joint, nécessite d'enlever une épaisseur de 2-6 cm de l'ancien mortier. Ensuite, il est nécessaire de nettoyer et humidifier la surface traitée.

Enfin, il faut injecter le nouveau mortier. Le mortier de chaux hydraulique est favorisé pour les structures anciennes **[17]**. Corradi et al, 2008 **[17]** ont testés en compression diagonale des murs de maçonnerie ayant des joints irréguliers. Le remplacement du mortier a augmenté la rigidité élastique, mais n'a pas augmenté significativement la résistance au cisaillement

Figure I.32.a. Alors que, l'application de cette technique accompagnée avec des barres



(a) augmentation de la rigidité (b) Augmentation de la résistance au cisaillement et de la rigidité

Figure 1.32:Comportement de cisaillement des murs renforcés avec remplacement de 2 à6 cm de mortier des joints : (a) sans utilisation des barres transversales (b) avec utilisation des barres transversales [17]

Le renforcement des murs composés de plusieurs couches dans l'épaisseur se réalise par l'injection d'un matériau remplissant à partir de la couche intérieure. Cette technique utilisée par Oliviera et al 2004 [18] peut être accompagnée d'un renforcement par des barres traversant la section. Ce renforcement vise à réduire le déplacement relatif entre les couches du mur dans l'épaisseur et d'augmenter la résistance en compression du mur. L'injection du matériau remplissant commence du bas vers le haut du mur en utilisant une pression faible de l'ordre de 0.1 N / mm² environ. Le tube d'injection est fixé sur l'une des faces du mur voir les deux selon l'épaisseur de la couche renforcée et il a un diamètre de 10 mm. Il est nécessaire que le travail d'injection du mortier soit précédé par l'humidification du mur pour éviter l'absorption de l'eau pendant l'injection [18].

Vintzileou et al 2007 [19] propose de calculer la résistance en compression du mur renforcé par injection $f_{cw,i}$ par l'Équation 1.1 Le mur avant le renforcement a une résistance moyenne en compression $f_{cw,0}$. L'injection dans une couche du mur augmente la résistance en compression de la couche jusqu'à f_{cil}. Le rapport entre le volume de la couche intérieure renforcée v_i et le volume du mur v_w est $\frac{Vi}{Vw}$

$$f_{cw,i} = f_{cw,0}\left(1+\frac{Vi}{Vw}\frac{fciil}{fcw,0}\right) \qquad \text{Equation 1.1}$$

Par ailleurs, le renforcement avec des câbles introduits dans les joints est une technique étudiée par Borri et al, 2011 [16]. Cette technique s'appelle « Reticolatus » et doit être précédé par la caractérisation de la résistance en compression de chaque couche du mur Le principe de « Reticolatus » consiste à prélever 6-8 cm du mortier. Par la suite, engager des barres dans le sens perpendiculaire à la surface du mur. Ensuite, introduire des câbles d'acier dans les joints pour former un maillage sur la surface du mur. Le mur est renforcé aussi avec des barres qui traversent deux tiers de la profondeur de la section. L'intersection entre deux câbles forme un nœud du maillage. Les nœuds du maillage se fixent avec des barres transversales. Chaque mètre carré de la surface a *4* nœuds fixés. **[16]**.

Enfin les joints sont remplis avec un nouveau mortier.

Dans le travail de Borri et al, 2011 **[16]** deux types de câbles sont utilisés. L'un est un câble d'acier a une grande résistance à la traction ; UHTTS, et l'autre est un câble de polyéthylène ; UHMWPE. La résistance à la traction du câble d'acier est plus élevée. En revanche, les câbles de polyéthylène possèdent des déformations ultimes à la traction qui sont plus importantes.

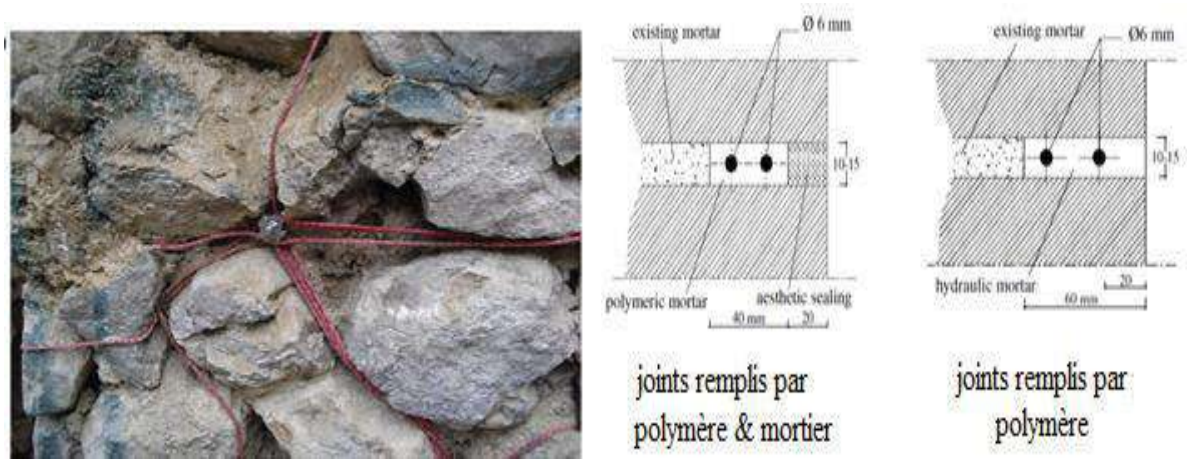
Les résultats montrent que la résistance au cisaillement augmente entre *2.7* et *2.9* fois en utilisant les câbles d'acier par rapport au mur non renforcé. Alors que l'utilisation des câbles de polyéthylène donne une augmentation de la résistance de 2.3 fois par rapport au mur non renforcé.

De plus, l'utilisation des câbles de renforcement est remplacée par le renforcement avec des barres d'acier dans les murs de joints régulières.

Par exemple, pour renforcer la cathédrale St. Giustina's Padua, Italy **[15]** les joints horizontaux de mur sont renforcés avec des barres d'acier au long du joint, après avoir retiré 6-8 cm de profondeur de mortier. En plus, comme le diamètre de barre est limité par l'épaisseur de mortier, il est possible de disposer deux barres dans la même couche renforcé. Une couche d'enrobage de 2 cm permet de prévenir la corrosion de l'acier.

La Figure I.33représente la section du joint avec la possibilité de l'utilisation du mortier hydraulique ou polymérique pour remplir les joints.

Dans le cas d'un mur épais, le renforcement avec des barres se réalise sur les deux côtés du mur et il est accompagné avec des barres qui traversent la section **[15]**.



(a)Technique de « Reticolatus» (b)Détails de la section de joint

Figure I.33: Renforcement des joints de mortier de la maçonnerie (a) avec cordes d'UHMWPE [16] (b) avec barres d'acier [15]

I.7.1.3 Renforcement par matériaux composites

L'utilisation des matériaux composites a évolué depuis les années 1960-1970 [20]. 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 [21].

I.7.1.4 Les fibres :

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont reparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.
Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, …etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite.

A. Les fibres de verre :

Les fibres de verres sont moins chères et présentent une plus faible résistance mécanique mais une plus grande déformabilité, ce qui le rend la solution la plus utilisée dans plusieurs application, tel que le génie civil, l'industrie des bateaux et d'auto mobiles.
Les fibres de verres plus utilisées sont :
Les fibres **E** sont les fibres de verre classique à forte teneur en bore elles présentent de bonnes caractéristiques mécaniques, mais sont sensibles aux alcalis libères par l'hydratation du ciment.
Leur emploi dans le béton nécessite donc l'incorporation de polymères ou autres ajouts au mélange, au moment du gâchage qui ont pour fonction d'enrober la fibre et de la protéger de l'attaque alcaline.
Les fibres **AR** (alcali-résistantes) sont obtenues avec un verre riche en zirconium moins sensible aux alcalis.

Un traitement d'ensimage (dépôt d'un produit de protection) améliore encore leur tenue.

Verre **S** (résistant) ayant de très hautes résistances et rigidité a la traction

Verre **C** (chimique) stable chimiquement dans les environnements acides

B. Les fibres de carbone :

Les fibres de carbone sont produites par la pyrolyse de deux types de précurseur : le textile et le "pitch" (brai ou poix). Les précurseurs textiles se divisent en plusieurs branches telles que la rayonne et la poly acrylonitrile (PAN), cependant la PAN est de loin la plus commune le mode d'élaboration des fibres de carbone est relié au type de précurseur.

Les filaments passent premièrement à une cyclisation mouillée pour ensuite être étirés à température élevée permettant aux chaînes polymères d'être alignées dans la direction des filaments. Ces filaments sont ensuite chauffés à l'air (220°C) pendant environ deux heures, provoquant une oxydation, La prochaine étape consiste à carbonisé les filaments en les chauffant graduellement à environ 1500°C en atmosphère inerte. Bien que les filaments contiennent à cette étape surtout du carbone augmentant considérablement leur résistance en tension, une distribution encore imparfaite de ces atomes entraîne un bas module d'élasticité des filaments (HR).

Alors que les filaments carbonisés sont su séquentiellement traités à la chaleur à environ 3000°C, leur structure devient plus ordonnée ; on assiste à une graphitassions. Les filaments ainsi transformés ont atteint un haut module d'élasticité (HM/UHM) au détriment de leur résistance en tension.

C. Fibres de 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.

D. Les fibres d'aramides(PRFA) :

Les fibres d'aramides ont été introduites en 1971, telles sont obtenues a partir de polymères polyamides aromatisés.

La structure de la fibre d'aramide est anisotrope et donne une plus grande résistance et un module dans la direction longitudinale de la fibre

Les fibres d'aramide sont produites par plusieurs fabricants sous différents noms de marque telles que : Kevlar, twaron technora.

E. Fibres d'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.

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**.**

INTRODUCTION :

L'objectif de notre étude consiste a étudié le comportement mécanique des murets sans au avec renforcement ainsi pour évalué la durabilité des différents types de mortier.

Ce chapitre a été réalisé pour présente le comportement mécanique en compression diagonale des murets. Les murs composés de six rangées de brique assemblées par mortier, sont étudiés sans et avec renforcement. Ainsi évaluer la durabilité du mortier bâtard.

II.1.MATERIAUX UTILISE:

Dans notre étude on a utilisé des matériaux locaux fréquemment utilisés dans les chantiers algériens, pour nos différents essais, nous avons besoins des granulats (sable) du ciment, de la chaux, et de l'eau.

II.1.2.Provenance des matériaux :

- ✓ La chaux Hydraulique : Provient de l'usine de ≪HASSASNA ≫ wilaya de Saida,
- ✓ Le ciment : ciment portland composé (CPJ-CEM II /A 4,25) produite par l'entreprise des ciments et dérives de Chleff.
- ✓ L'eau : l'eau utilisée est celle du robinet de la commune de ≪Médéa ≫
- ✓ la brique perforée de la wilaya Sétif.
- ✓ Le sable : le sable utilise est un sable Hassi Bahbah.

II.2. Caractéristiques des matériaux

1) Chaux :

la chaux éteinte(NHL) et issue de la carrière de chaux de Hassansa de SAIDA. Elle est fabriquée par la société BMSD selon les normes **–NF-P15-311[15]-NF-EN-459-1-[16].**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
Densité apparente [g/l]	600-900



Figure. II.1:la chaux éteinte(NHL) de Hssasna.

2) Le ciment:

Au cours de cette étude nous avons utilisé un ciment portland composé (CPJ-CEM II /B-L 42,5) produite par l'entreprise LA FRAGE et dérives de Chleff. 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. Le ciment CPJ-CEM II/B-L 42,5 est un ciment gris de composition minéralogique de clinker C_3S (60±3)% C_3A (7.5± 1)% .



Figure II.2: Ciment de Matin

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 selon l'ouvrabilité du mortier.

4) la brique :

La Brique perforée utilisée a été fabrique par la briqueterie de Sétif. La brique 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 :

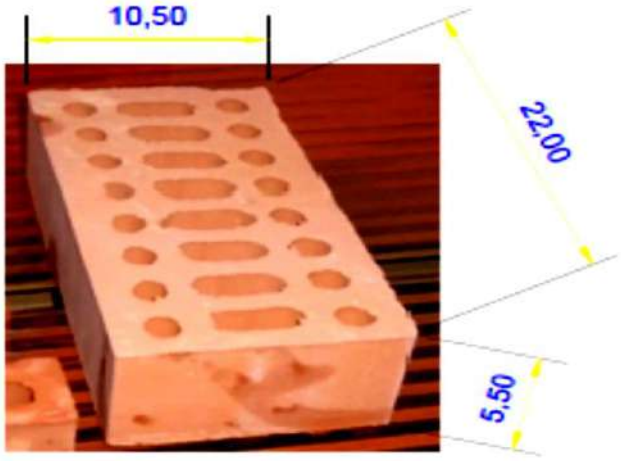


Figure II.3: Dimensions des briques perforées.

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.

c. Caractéristiques mécaniques:

Afin de caractériser la contrainte ultime en compression, les briques sont testées dans les trois directions caractéristiques (voir figure II.4)

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.4: Les briques en compression selon les trois directions.

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 Bahbah la wilaya de Djelfa, située à 242km à sud d'Alger.



Figure. II.5: sable utilisée.

➢ Caractéristiques de sable :

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

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

a) Equivalent de sable :

Selon la norme **NF P 18-598 [11]**, la mesure de l'équivalent de sable se fait sur des tubes en verre. Les étapes suivies sont [Dupain.00]**:**

1. On remplies les éprouvettes avec la solution lavant, jusqu'au premier trait ;
2. On verse la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air ;
3. On Bouche les éprouvettes et on les agite par des mouvements rectilignes horizontaux de20cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine ;
4. On lave et on remplies les éprouvettes, avec le tube plongeur
   - On rince le bouchon au dessus de l'éprouvette ;
   - On faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette ;

- On lave le sable en faisant descendre et on remonte lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure ;

5. On faire Sortir le tube, et on ferme le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisse reposer 20 mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci ;

6. Puis on Mesure à vue les hauteurs h1 et h2

La mesure de h2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes, Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston ;

7. On descend le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable.

On Mesure alors h2'. Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h1, h2 et h'2 doivent être faites avec la précision du mm.

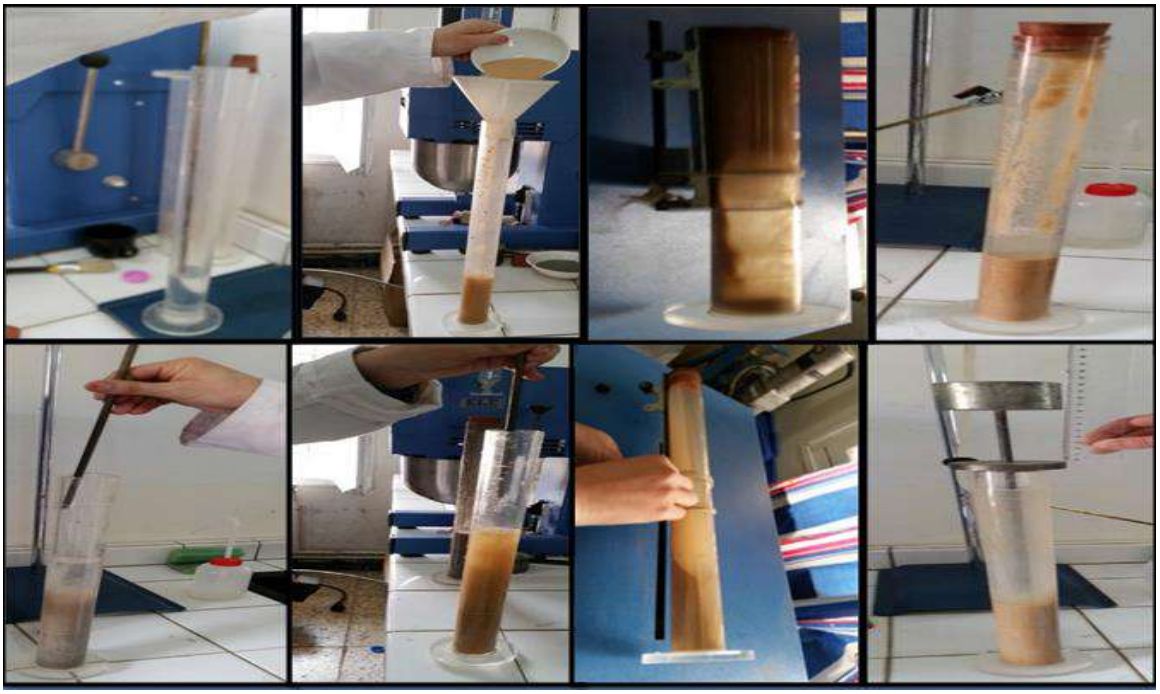


Figure II.6: Essai d'équivalent de sable (sable fin)

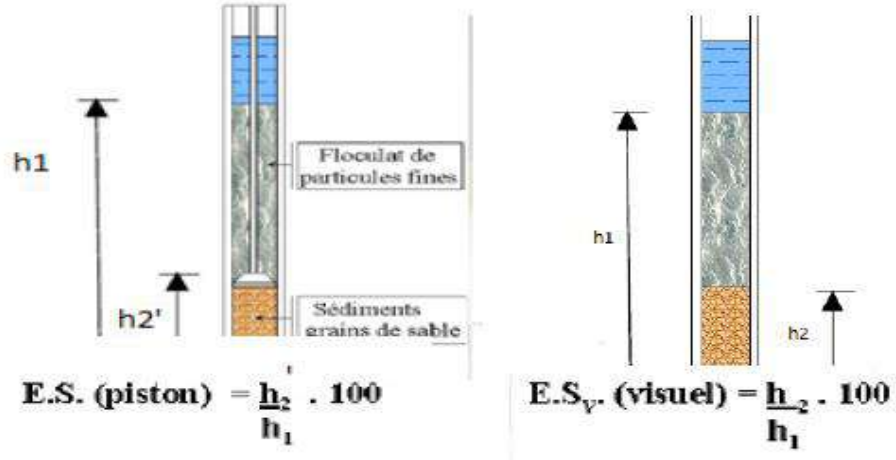


Figure. II.7: Procédure de mesure de l'équivalent de sable

b) Expression des résultants :

On Calcul pour chaque éprouvette ESV et ES avec une précision décimale et retenir les

Moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche

ES =100. (h2' / h1) **(II.3)**

ESV =100. (h2/ h1) **(II.4)**

c) Granulométrie :

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NA 2607 [22]** où le sable passant à travers une série de maille décroissante (Figure II.8) dont on pèse le refus de chaque tamis *[Dupain.00]*.



Figure. II.8 : Essai d'analyse grannulométrique(sable Fin).

On utilise une quantité de **1000 g** pour le sable roulé. On trace les courbes granulométriques de sable, puis on défini le module de finesse de sable.

d) La masse volumique :

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'une substance par unité de volume. Le Calcul de la masse volumique absolue par la méthode de pycnomètre donné par la relation suivent :

$$\boldsymbol{\rho_{abs}} = \frac{m_2}{m_1+m_2-m_3} \times \rho_{eau} \qquad \text{(II.5)}$$



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

e) Module de finesse:

Le module de finesse (Mf) d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés (exprimée en pourcentage) des fraction granulaires obtenues sur les tamis de modules : 23 - 26 - 29 - 32 - 35 - 38 - 41 - 44 - 47 - 50 (respectivement des tamis de la série 0,16 mm - 0,315 mm - 0,63 mm - 1,25 mm - 2,5 mm - 5 mm - 10 mm - 20 mm - 40 mm et 80 mm)

II.3. Mortiers :

Afin d'étudier l'influence du type de mortier sur le comportement des éléments en maçonnerie, on a utilisé un mortier bâtard est constitué de chaux, de ciment, de sable fin. Pour le besoin de cette étude, nous avons utilisé le dosage de mortier de bâtard comme suit:

Tableau II.2: dosage de mortier bâtard.

Mortier bâtard	Ciment	chaux	Sable
Type A	**1**	**1**	3
Type A'	**1**	**1**	4
Type B	**1**	**1**	5
Type B'	**1**	**1**	6

II.3.1. Essai sur mortier EN196-1

Notre étude concerne des éprouvettes de déférent dosage de mortier bâtard.

Le but de cet essai est d'étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la quantité de sable; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du sable.

II.3.1.1. Equipement nécessaires pour l'essai :

Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés éprouvettes ≪ 4×4×16 ≫ voir figure (II.10)

- ✓ Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN
- ✓ Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm± 0,3mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s

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

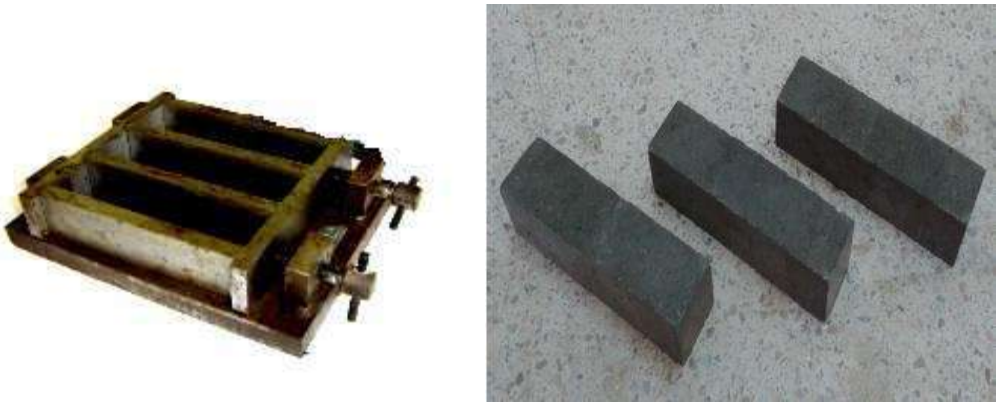


Figure II.10: Moule prismatique et éprouvettes 4x4x16 cm de mortier

II.3.1.2. Conduite de l'essai :

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Avec le mortier normal prépare comme indique (a la partie supérieure), on remplit un moule 4 x4 x 16.

Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs a chaque fois. Apres quoi le moule est arase, recouvert d'une plaque de verre et entrepose dans la salle ou l'armoire humide.

Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau a 20 C° ± 1 C° jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance a 2(ou 7 jours) et 28 jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment.

Si des essais sont réalises a d'autres âges, ils devront être réalises dans les limites de temps indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.3 : limites de temps pour réalisés l'essai de compression

Age	24 h	48 h	72 h	7 j	28 j
Précision	±15 min	±30 min	±45 min	±2 h	±8 h

A. Resistance a la flexion :

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure (II.11)

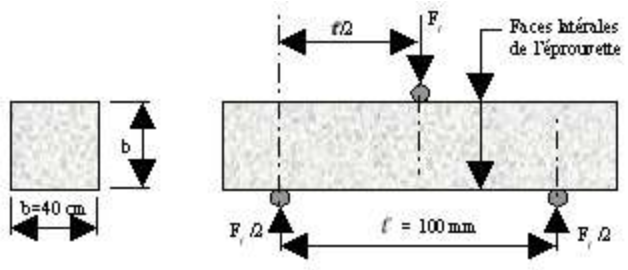


Figure II.11 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (VENUAT, 1989).

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

$$Rf = \frac{1.5\ Ff.l}{b^3} \qquad \text{(II.6)}$$

Cette contrainte est appelé la résistance a la flexion. Compte tenu des dimensions b et l , Si Ff est exprimée en (N), cette résistance sera exprimée en (MPa)

$$R_f=0.234N_f \qquad \text{(II.7)}$$

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 3.8. Si F_C est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$Rc = \frac{Fc}{b^2} \qquad \text{(II.8)}$$

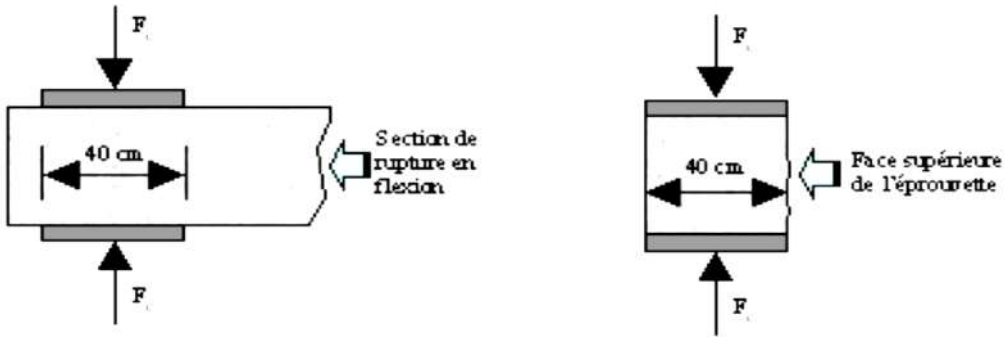


Figure II.12:Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (Michael, 1989).

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

$$Rc = \frac{Fc}{1600} \qquad \text{(II.9)}$$

II.4. LES MURETS:

Notre étude concerne des panneaux de maçonnerie en brique perforée testés sous chargement bi axial soumis à un effort de compression diagonale. Nous avons utilisé pour ce faire, deux dosage de mortier bâtard de {Type A (1:1:3) et Type B (1:1:5)}. Avec un épaisseur du joint de 10 cm. On a six Muret non renforcée (Muret témoin) et six panneaux renforcée avec le tissue de fibre da carbone. (Tableaux. II. 4).

Tableaux .II.4: caractéristiques des murets

	mortier	Mures non renforcée	Mures renforcée	Nombre total des murs
Brique Perforée	Type A	3	3	12
	Type B	3	3	

II.4.1. CONFECTION DES MURETS

Nous avons réalisé 12 murets pour les besoins de cette étude, ave les dimensions suivantes « 40×40cm» : ils sont composés par six rangés alternées, (Figure. II.13).

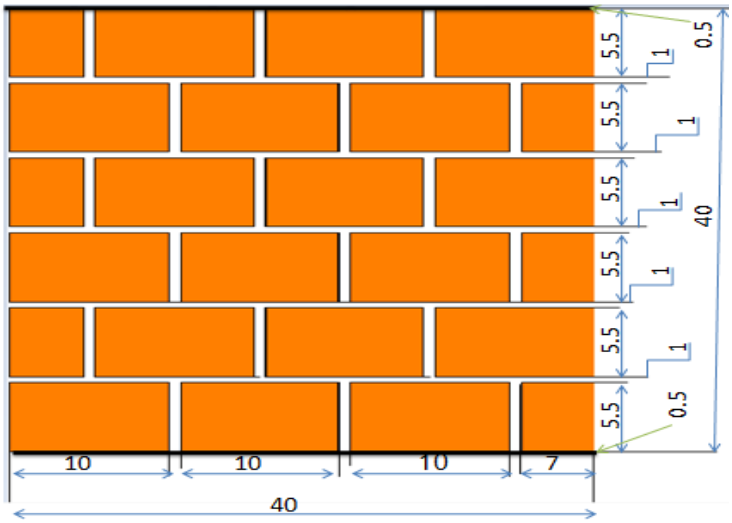


Figure II.13: Dimensions des murets en brique

II.4.2. Matériel utilisé:

Le matériel utilisé pour la confection des murs est le suivant (figure II .14) : truelles, auge, fil à plomb, niveau…



Figure II.14 : Outils utilisés pour la confection des murs.

II.4.3. Méthodologie de la confection des murets

Un dispositif a été conçu pour la réalisation des murets afin de respecter la planéité, Les opérations suivantes sont :

- On découpe a la scie les blocs de briques aux dimensions demandée
- Mouiller les blocs dans tous les côtes afin d'éviter l'absorption de l'eau du mortier pendant la réalisation de la maçonnerie.
- Etaler le mortier suivant l'épaisseur et à l'aide des gabarits fixant la dimension
- On vérifié la planéité du mur avec la règle en bois.
- On fait l'écrasement après 28 jours.



Figure II.15: cinquième rangé du mure

II.5. MATERIAUX DE RENFORCEMENT

II.5.1. Fibres de carbone

Dans cette étude on a utilisé pour le renforcement des murées un Tissu de fibres de carbone de type SikaWrap®-230 C, unidirectionnel (Orientation de la fibre 0°), composé de fibres de carbone noires (99% du poids par unité de surface) et de fibres blanches thermoplastiques (1% du poids par unité de surface) Les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau suivant II.5.

Tableau II.5: caractéristiques de fibre de carbone

LARGEUR DU TISSU	300 / 600 mm
LONGUEUR DU TISSUE/ ROULEAU	≥ 50 m
POIDS	235 g/m² ± 10 g/m²
ÉPAISSEUR DU TISSU	0,129 mm (basé sur la teneur en fibres)
DENSITÉ (FIBRE)	1,82 g/cm³
MODULE D'ELASTICITE VALEUR MINIMALE	230 kN/mm²
RESISTANCE A LA TRACTION VALEUR MINIMALE	4000 N/mm²
ALLONGEMENT A LA RUPTURE	1,70%

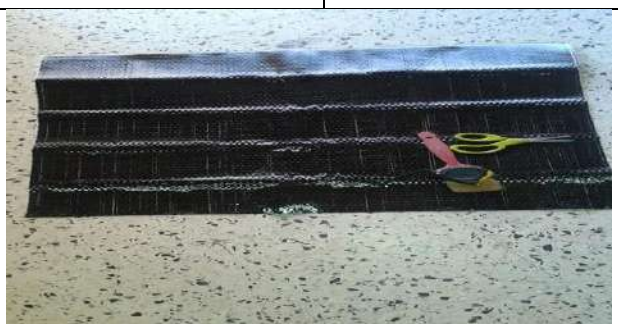


Figure II.16: Tissu en fibre de carbone.

II.5.2. Résine d'imprégnation pour le système SikaWrap:

Sika dur® 330 résine d'imprégnation époxydique pour tissu de renforcement, est une résine d'imprégnation époxydique, thixotrope, à 2 composants, mélange de résine époxydique et de fillers spéciaux. Cette résine est constituée à deux composants, 100% de matières solides, résistant à l'humidité, à haut module d'élasticité et haute résistance. Les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.6: caractéristiques de la Résine.

Composant A	**Blanc**
Composant B	**Gris**
Composant A+B	**Gris clair (consistance crémeuse)**
Dosage de mélange	**A +B = 4: 1**
CONSERVATION	**24 mois dans son emballage**
RAPPORT DE MALAXAGE	**Par volume 3,68:1 Par poids 4:1**
VISCOSITE	**Environ 500 cps**
RESISTANCE A LA TRACTION ASTM D638	**30 N / mm2 (7 jours à + 23 ° C)**
MODULE EN TRACTION ASTM D638	**4800 N/mm2**
ALLONGEMENT A LA RUPTURE	**0.9% (7 jours à +23°C)**

II.6. MODE D'APPLICATION DE LA FIBRE DE CARBONE

1. PREPARATION DE LA SURFACE

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



Figure. II.17: nettoyage de la surface des mures

2. Couper le tissu en fibre de carbone

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

3. Le mélange des composants de la resine epoxy sikadur 330:

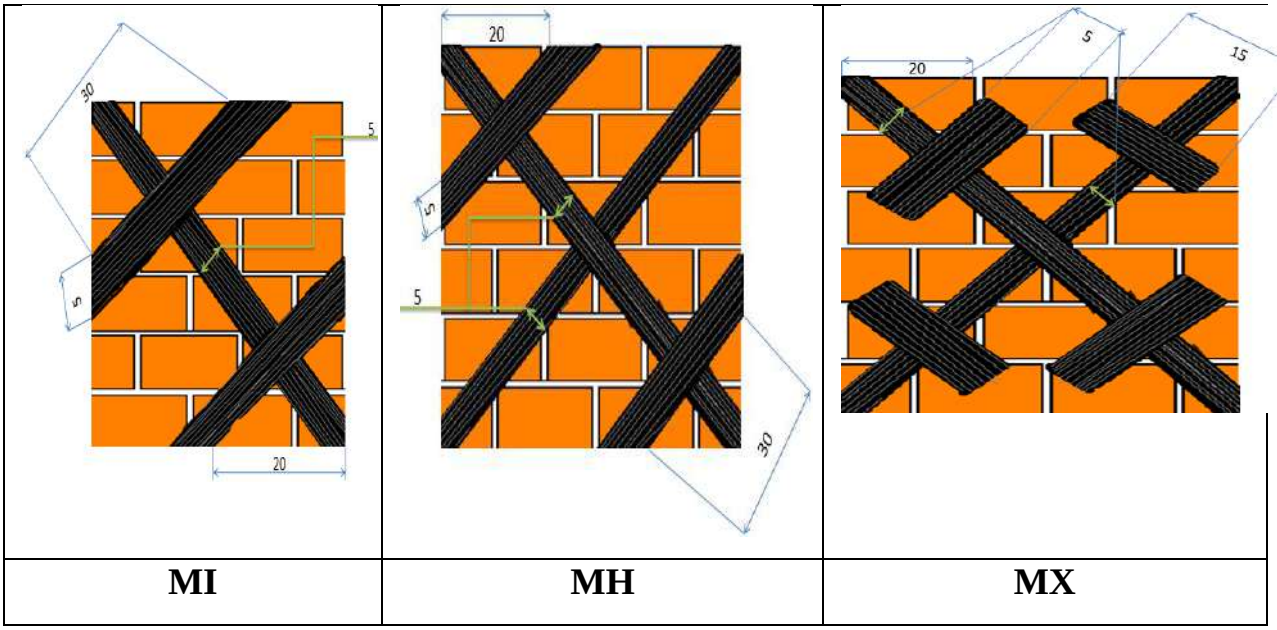
Pré mélanger chacun des composants. Puis mélanger tout l'ensemble, verser le composant B dans le contenant du composant A. Mélanger entièrement pendant 5 minutes jusqu'à ce que le tout soit homogène.



Figure II.18 : composants A et B de la résine époxy bi-composants 4: 1

II.7. DIFFERENT DISPOSITIFS DE FIBRE ADOPTE

On a trois dispositifs des fibres de carbones type Sika Warp ont été adoptés pour renforcé les murets, avec des bandes de 50 mm de large. (Figure .II.19)



MI	MH	MX

Figure. II.19: les différents dispositifs de renforcement**.**

➢ Les panneaux MT:

Ce panneau de référence représenté le mur non renforcé et s'appelle MT

➢ Les panneaux renforcés:

Tableau II.7: présentation des murée renforcée

Les panneaux	Surface des fibres	Pourcentage
MRI Type A	366.5 cm^2	22.91٪
MRI Type B	366.5 cm^2	22.91٪
MRH Type A	875 cm^2	54.68٪
MRH Type B	875 cm^2	54.68٪
MRX Type A	865 cm^2	54.06٪
MRX Type B	865 cm^2	54.06٪

II.8. ESSAI DE COMPRESSION DIAGONALE

L'essai de compression diagonale est défini par la norme l'ASTM E519-02, les Recommandations RILEM et la norme européenne EC 6. Cet essai a comme objectif d'étudier les comportements globaux en compression-cisaillement des murs carrés en maçonnerie soumis aux charges de compression dans la direction de la diagonale du mur.

II.8.1.Dispositif d'essai :

Une presse pilotée par ordinateur a été utilisée pour la réalisation des essais, comprenant : Un portique de 1.0 m x 0.70 m ;

- Un machine de 100KN de capacité ;
- Un système hydraulique ;
- Un système d'acquisition des données,
- Sabots (semelles) de transmission des charges ;
- Capteur de déplacement vertical ;
- Capteur de déplacement horizontal ;
- Un logiciel pour le traitement des données.

1.8.2. Protocole de l'essai :

Les murets est placé et centré diagonalement entre les deux plateaux de la presse a l'aide des sabots métallique, puis en chargé progressivement a vitesse a 10kn/s jusque a rupture. Ces derniers permettent la transmission de la charge au mur au sens verticale. La mesure des déplacements est effectuée a l'aide de deux capteurs de déplacements qui sont installes au-dessus et sur la diagonale du mur.

L'ensemble des données, forces et déplacements, sont enregistres automatiquement par un système d'acquisition des données. Les déplacements horizontaux sont détermines manuellement par un capteur de déplacement. La mesure de pression, et donne automatiquement par le système. Le chargement est appliqué par une machine de capacité de 100KN. La vitesse de chargement est de 5mm/min.

L'ensemble des données, forces et déplacements, sont enregistrés automatiquement par un système d'acquisition des données.

L'observation comprend des paramètres tels que la contrainte de cisaillement, le module de rigidité, et le module d'élasticité. La charge est appliquée à l'aide du vérin hydraulique qui est placé en dessous de la cellule de charge.



Figure. II.20*:* Mise en place les murets dans la presse. CNERIB

1.8.3. Essais de compression diagonale sur les murets :

L'essai consiste a testé quatre murets non renforcée et six murets renforcé par fibre de carbone a fin d'évalué l'efficacité du renforcement et le comportement des murets sous l'effet des murets sous chargement aussi le mode de rupture que déponde chaque cas de renforcement.

II.9. Paramètres expérimentaux

❖ Contrainte de cisaillement diagonale

La résistance au cisaillement est calculée selon l'état de contrainte dans le centre du mur ; isotrope ou anisotrope. Le calcul de la contrainte de cisaillement $\boldsymbol{\tau}_{dt}$ est fait selon l'ASTM 519 – 02.en considérant un état de contrainte isotrope dans le centre du mur

$$\boldsymbol{\tau}_{dt} = \frac{\mathrm{P_{max}}}{\sqrt{2}\times \mathrm{A}} \qquad \text{(II.10)}$$

La surface latérale A est soumise à une charge maximale $Pmax$. La surface A est calculée avec l'Équation II.11 en considérant w, la largeur, h la hauteur et t l'épaisseur du mur.

$$A = \frac{w+h}{2} \times t \qquad \text{(II.11)}$$

- **Déplacement latéral et ductilité**

Le module de cisaillement G et la ductilité μ_y représentent deux paramètres correspondant à la réponse du mur en déplacement. Ces deux paramètres nécessitent la mesure du déplacement latéral élastique et maximale.

La déformation totale γ est la somme de la valeur absolue de la déformation en compression

$\varepsilon_c$et en traction$|\varepsilon_t|$.

$$\gamma = \varepsilon_c + |\varepsilon_t| \qquad \text{(II.12)}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta L_c}{L_c} \quad \text{Et} \quad \varepsilon_t = \frac{\Delta L_t}{Lt}$$

L_c, L_t représentent les longueurs des diagonales comprimées et allongées, et ΔL_c, ΔL_t sont les variations des longueurs de ces diagonales respectivement.

La ductilité en déformation de cisaillement est défini comme le rapport entre la déformation ultime γ_u et celle élastique γ_e.

La déformation élastique γ_e est définie à 70% de la contrainte maximale de rupture τ_u . La déformation maximale γ_u est définie à 80% de la contrainte maximale τ_u.

Dans le cas d'une pente descendante (adoucissement) de la courbe contrainte-déplacement. En revanche, le déplacement maximal représente la déformation à la rupture pour une pente montante de la courbe contrainte-déformation (durcissement).

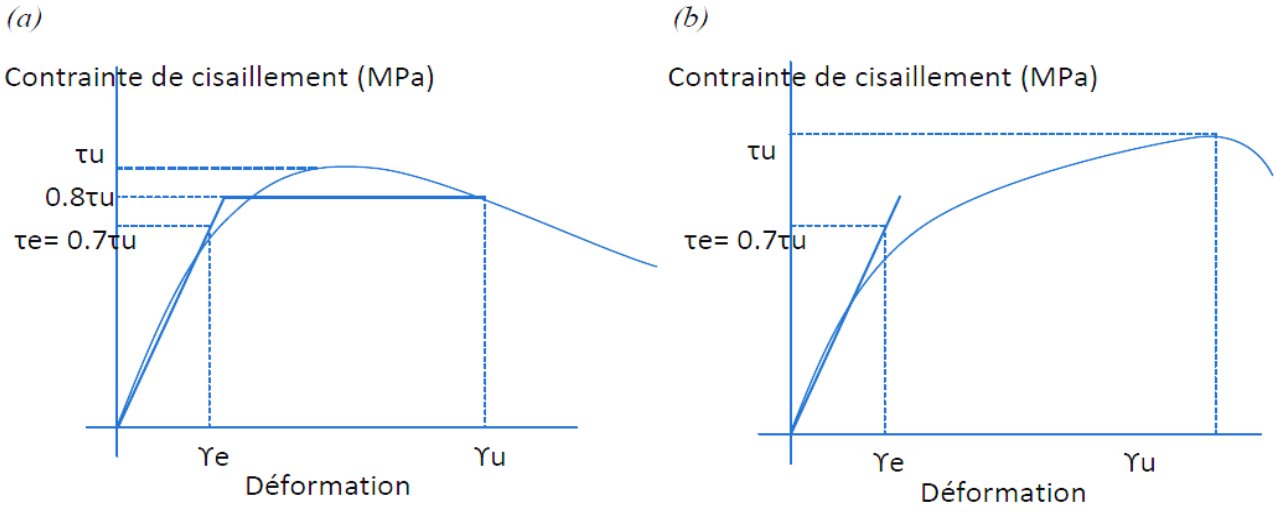


Figure II.21: Courbe de comportement (a) adoucissement, (b) durcissement.

$$\mu_y = \frac{\gamma_e}{\gamma_u} \qquad \text{(II.13)}$$

Le module de cisaillement G est calculé dans la zone de contrainte élastique $\Delta\tau_e$ avec l'Équation II.14

$$G = \frac{\Delta\tau_e}{\Delta\gamma_e} \qquad \text{(II.14)}$$

$\Delta\tau_e$ et $\Delta\gamma_e$ représentent la contrainte et la déformation élastique, respectivement.

CONCLUSION:

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

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

Introduction

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

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des différents essais réalisés sur les murets et les matériaux de construction.

III.1.résultats expérimentale:

III.1.1 .Les briques

a) Caractéristiques géométriques :

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

- Briques perfore : 220 x 105 x 55 mm3

b) Caractéristiques physiques :

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

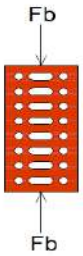
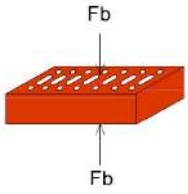
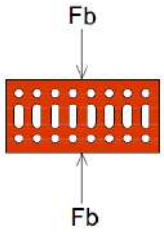
Tableau III.1: caractéristiques physiques des briques perforé.

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

c) Caractéristiques mécaniques

La résistance a la compression en fonction de la disposition des briques est donnée dans Le tableau (III.2) et la figure III.1.

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

Direction 1	Direction 2	Direction 3
		
0.428 MPa	10.461 MPa	2.987 MPa

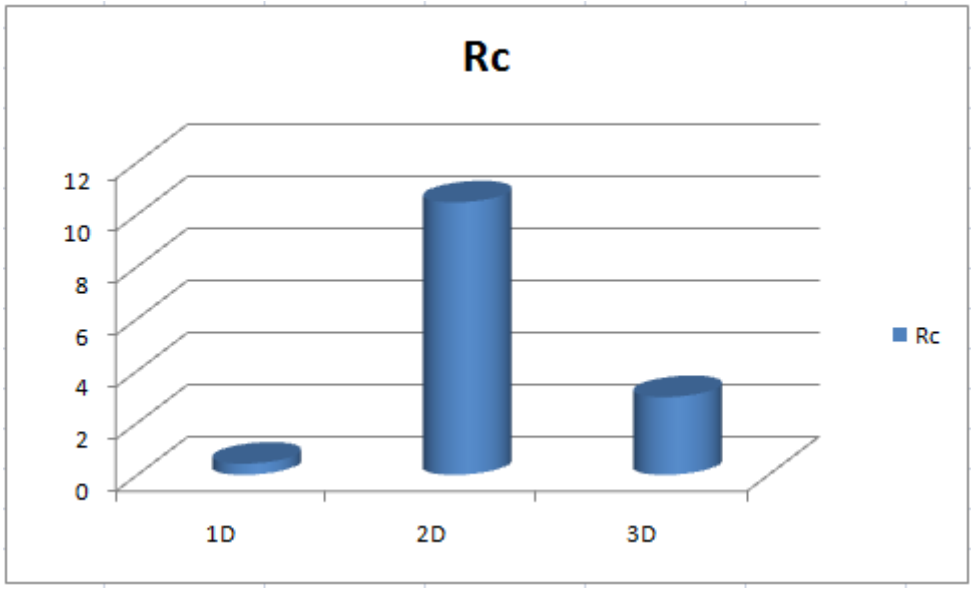


Figure III.1:Résultats d'essai de compression sur brique.

III.1.2.Le sable

III.1.2.1.Analyse granulométrique de sable Fin :

Tableau III.3 : Analyse granulométrique de sable fin.

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulés(%)
0.315	**591.2**	**59.12**	**90.88**
0.20	**727.8**	**72.78**	**27.22**
0.16	**981.2**	**98.12**	**4.88**
0.1	**998.3**	**99.83**	**0.17**
0.08	**998.9**	**99.89**	**0.11**
Fond	**999.8**	**99.98**	**0.02**

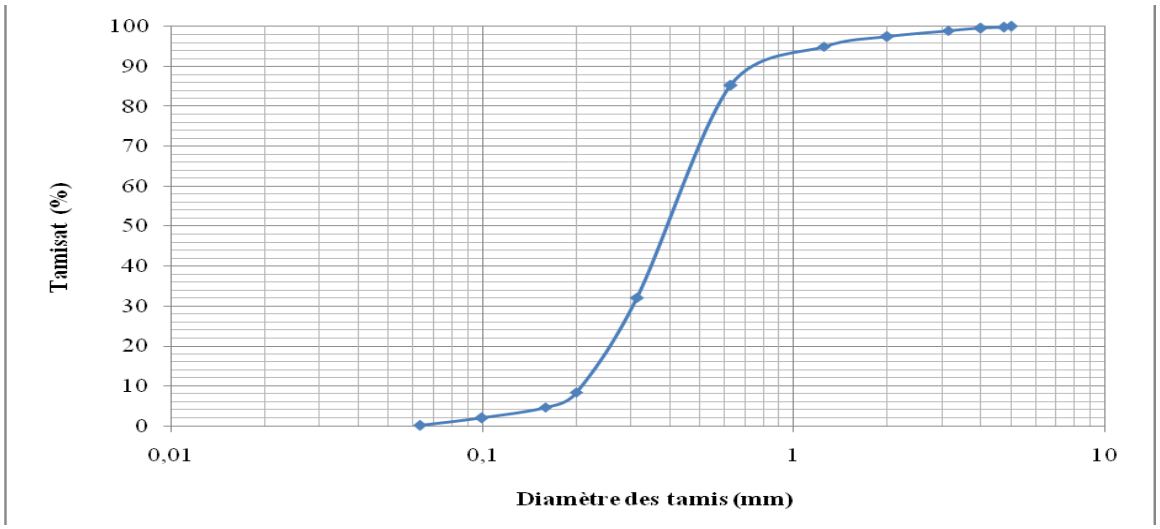


Figure III.2:courbe granulométrique de sable Fin.

III.1.2.2. Module de finesse:

$\mathbf{M_F}$= 1/100 ∑ Refus cumulés en % des tamis {0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5}

$\mathbf{M_F}$=1.57

✓ **Classification:**

Le module de finesse est < 1.8 ⇨ sable très fin

III.1.2.3. Résultats de L'équivalant de sable Fin.

Tableau III.4: Résultats de l'équivalent de sable Fin.

Sable Fin	Eprouvette°1
Hauteur de la colonne(H1)	13.2
Hauteur de sable à vue(H2)	10
Hauteur au piston (H2')	8.6
ESV%	75.75
ESP %	65.15

Observation : Sable propre

Tableau III.5: Résultats de l'équivalent de sable Fin.

Origine de sable	ES(%)	
	ESV	ESP
Sable Fin	75.75	65.15

Tableau III6: Nature et qualité de sable en fonction de (ESV et ESP).

ESV à vue en (%)	ES piston (en%)	Nature et qualité du sable
ESV<65	**ES < 60**	**Sable argileux**
65 ≤ ESV < 75	**60 ≤ ES < 70**	**Sable légèrement argileux**
75≤ ESV < 85	**70≤ ES< 80**	**Sable propre**
ESV ≥ 85	**ES ≥ 80**	**Sable très propre**

Observation :

Le sable Fin est très propre

III.1.2.4. Résultat de la masse volumique :

Pycnomètre : $\boldsymbol{\rho_{abs}} = \frac{100}{1573.5+100-1636.1} x1 \Longrightarrow \boldsymbol{\rho_{abs}} = 2.67$ g / m^3

Tableau III.7: Résultats de la masse volumique absolue (sable fin).

La masse	M_1	M_2	M_3
Valeur(g)	1573.5	100	1636.1
$\boldsymbol{\rho}_{abs}$ (g/m^3)	2.67		

III.1.3. Le mortier :

A. Résistance à la compression :

Tableau III.8: résultats des essais sur le mortier

N° Eprouvette	Résistance à la flexion (MPa) 28 jours	Résistance à la compression (MPa) 28 jours
Mortier A (1:1:3)	2.212	10.581
Mortier A'(1:1:4)	1.172	8.006
Mortier B (1:1:5)	1.12	7.66
Mortier B'(1:1:6)	0.076	3.191

III.1.3.LES MURETS :

III.1.3.1.Comportement de murs témoins (non renforcés):

six murs témoins ont été testés. La rupture du mur MTA ; MTB présente une fissuration diagonale traversant les joints verticaux de mortier.(Figure.III.3)



Figure.III.3: le mode de rupture de mur témoin MT

- Le mur témoin MTA a une résistance au cisaillement maximal de 0,489MPa correspondant à une force maximale de 41,112KN; Le déplacement élastique égale à 9.94 et le déplacement ultime vont 5.2. la ductilité μ 0.523. Le module de cisaillement G (30%) est de 16 MPa.

La rupture des joints verticaux est produite à l'interface brique-mortier avant que les briques soient fissurées

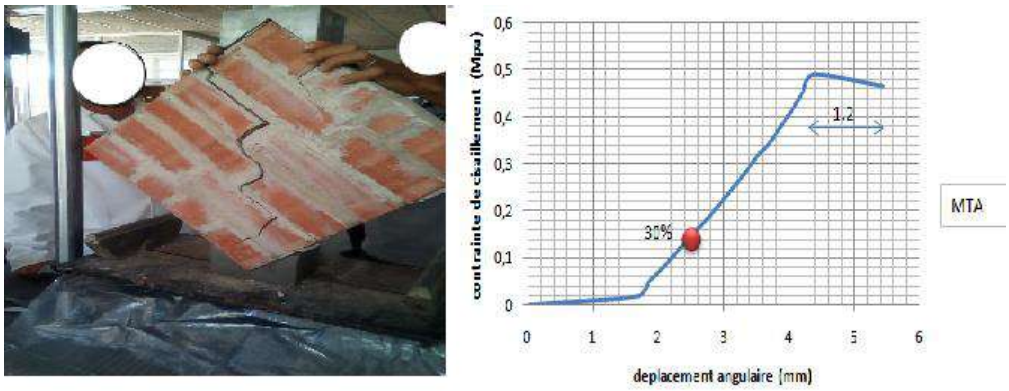


Figure III.4: Diagramme des contraintes de cisaillement-déplacement diagonale de mur MTA de référence.

- le mur MTB présente une résistance au cisaillement maximal de 0,574MPa correspondant à une force maximale de 48,203KN; Le déplacement élastique égale à 3.69 et la ductilité μ 1.07. Le module de cisaillement G (30%) égale à 20 MPa. A partir de la contrainte maximale nous observons un comportement fragile .Aussi, la courbe est caractérisée par quelque saut de déplacement, du au frottement entre les briques atteignant le déplacement de 1.2mm. (Figure III.5).

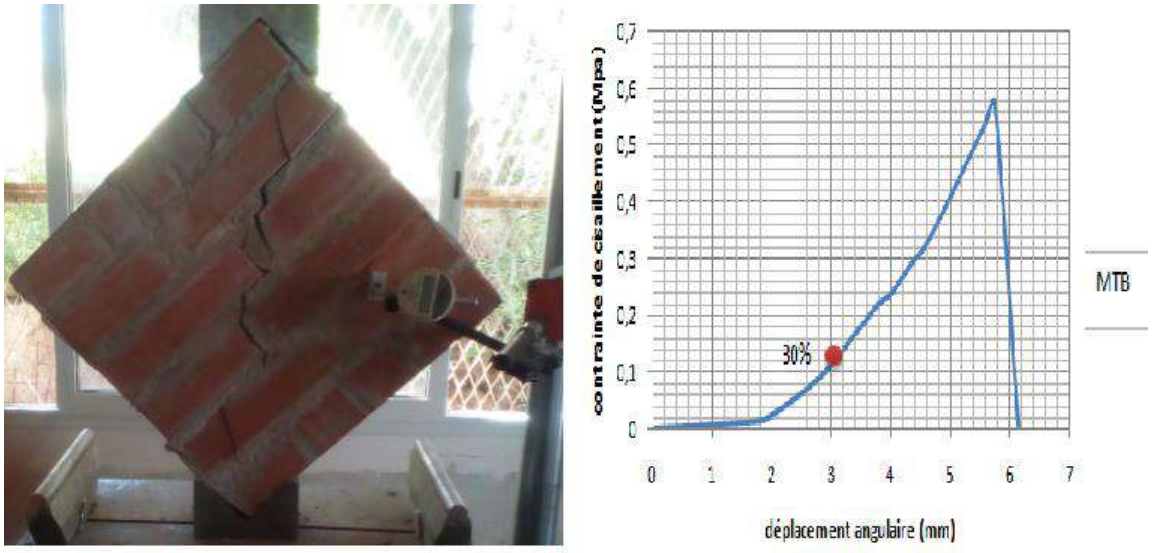


Figure III.5: Compression diagonale: le mode de rupture de mur MTB.

Tableau III.9 : résultat des murée témoin.

Muret	τ_u valeurs moyenne (Mpa)	τ_e (Mpa)	G(Mpa)	γ_e٪	γ_u٪	μ ٪
MTA	0.57	0.40	19.4	3.69	3.945	1.07
MTB	0.63	0.48	16.4	9.94	5.2	0.16

III1.2.3.Les murs renforcés par les fibres de carbone

A -Murs renforcé de forme I (MRI) :

- Le mur type A reprend une force maximale de 27.803KN soit une valeur de 0.46 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 36.32٪ et le déplacement ultime vont 37.58٪ Ce renforcement a permis d'augmenter la ductilité μ jusqu'à 1.045%. Le module de cisaillement G (30%) est de l'ordre de 18 MPa. (Figure III.6).Le mode de rupture s'est produit par une fissuration diagonale qui traverse des joints de mortier et des briques.

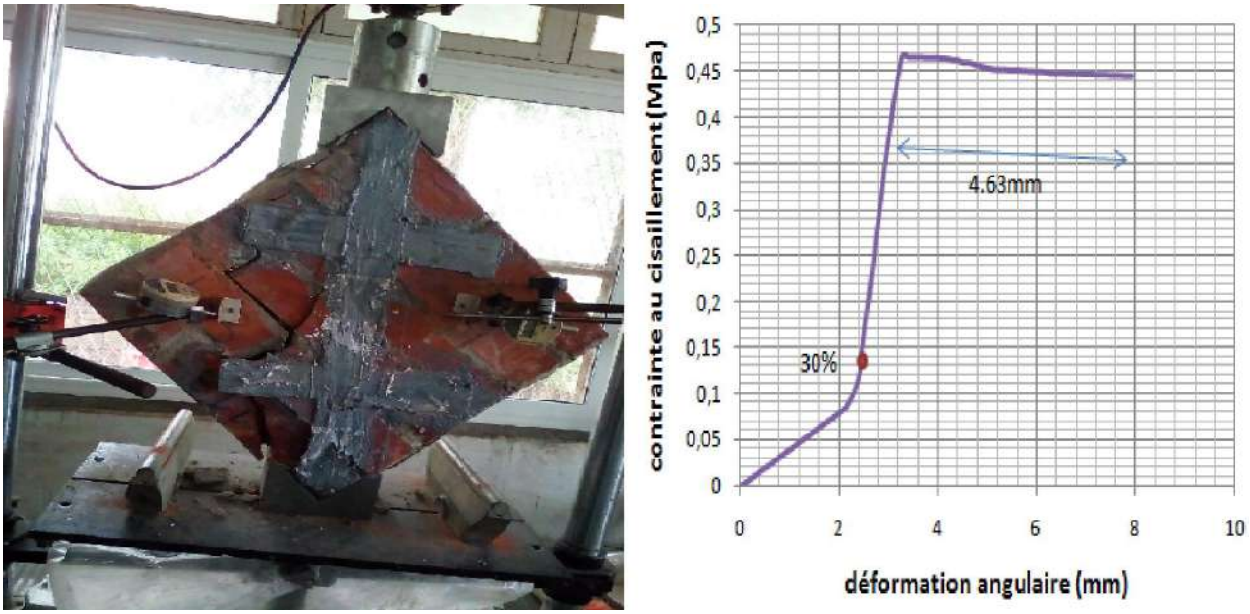


Figure III.6: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRIA.

- Le mur **type B** reprend une force maximale de 50.863 KN soit une valeur de 0.856 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 37.026٪ et le déplacement ultime vont 40.269٪ Ce renforcement a permis d'augmenter la ductilité µ jusqu'à 1.045%. Le module de cisaillement G (30%) est de l'ordre de 20MPa.
  (Figure III.7).Le mode de rupture s'est produit par une fissuration diagonale qui traverse des joints de mortier et des briques.

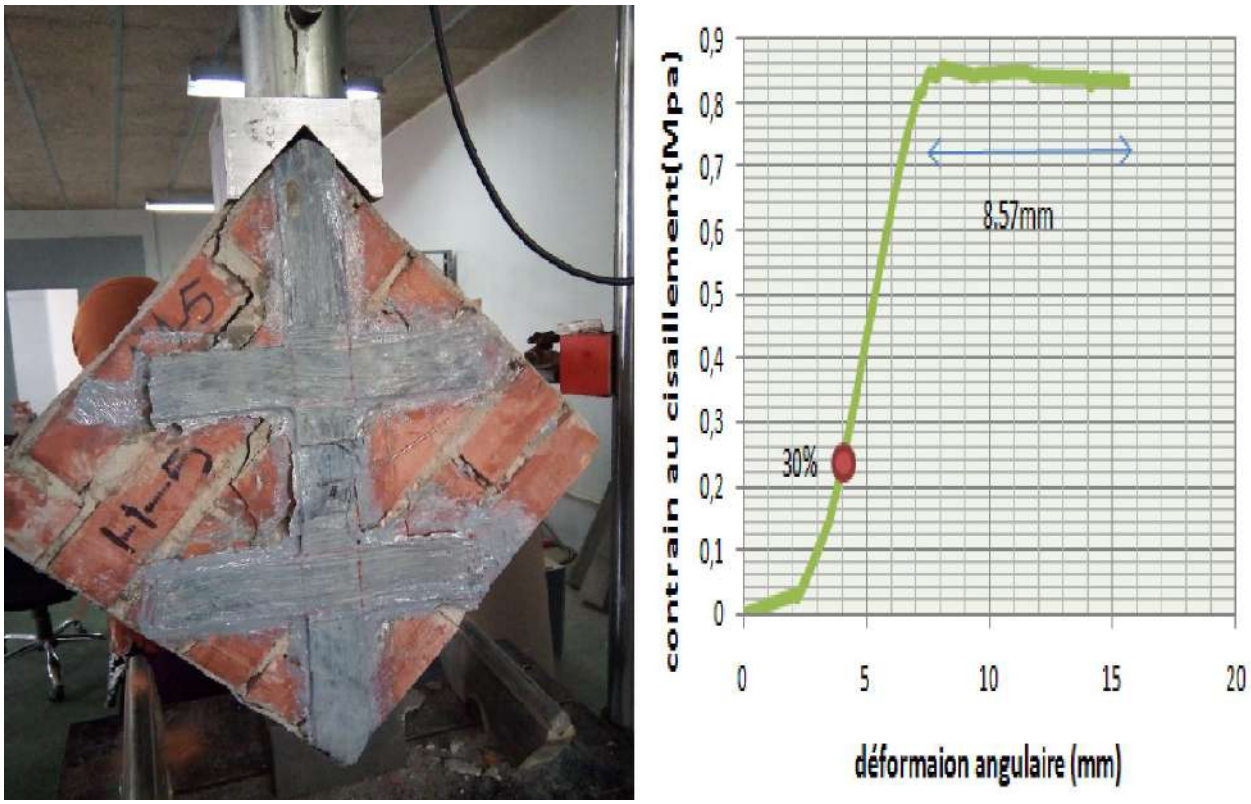


Figure.III.7: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRI B

B-Muret MRH avec des talents:

Le mur **type A** reprend une force maximale de 57,583 KN soit une valeur de 0.969 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 61.6 et le déplacement ultime vont 16.28mm Ce renforcement a permis d'augmenter la ductilité µ jusqu'à 1.145%. Le module de cisaillement G (30%) s'élève à 16 MPa. (Figure III.8)

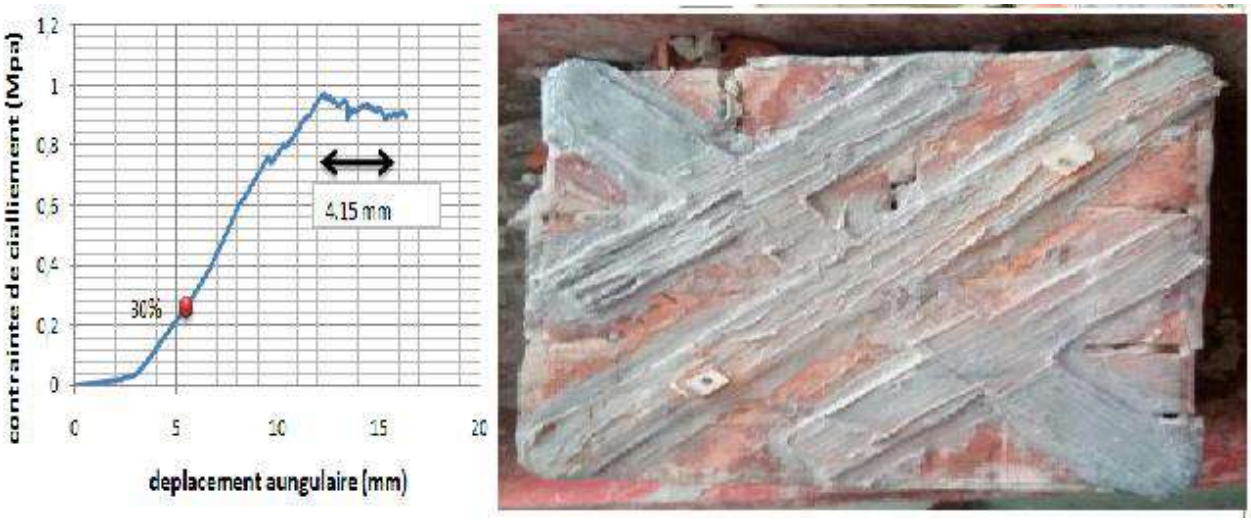


Figure III.8: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRH A.

- Le murée type **B** reprend une force maximale de 54,958 KN soit une valeur de 1.015 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 45.188⁄et le déplacement ultime vont 11.12mm Ce renforcement a permis d'augmenter la ductilité μ jusqu'à 1.09%. Le module de cisaillement G (30%) s'élève à 28 MPa. (Figure III.9)

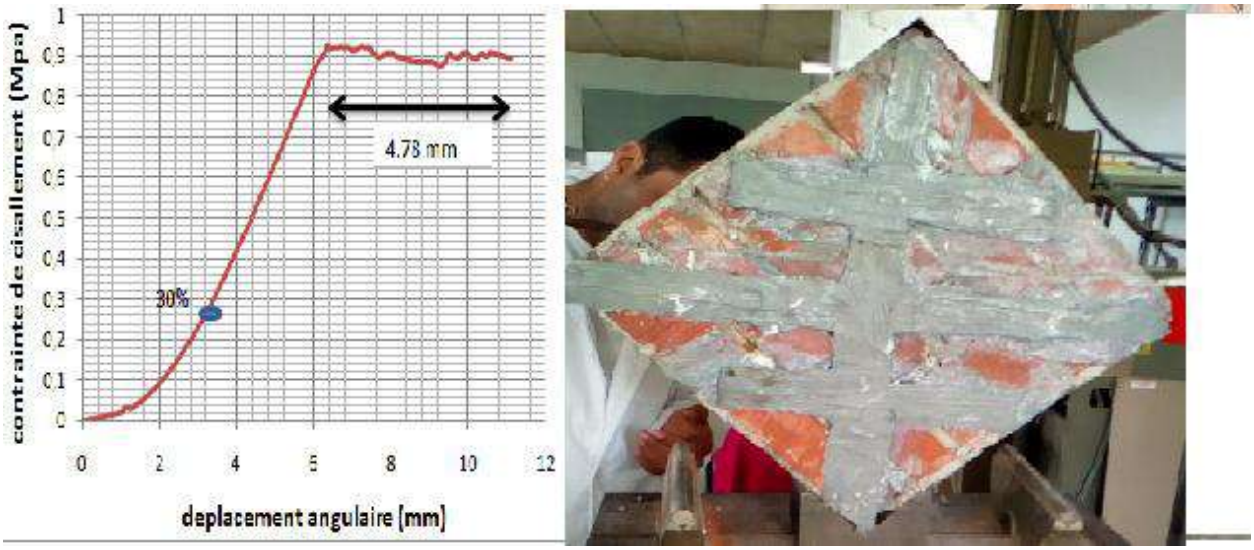


Figure III.9: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRHB.

C-Murs renforcé diagonalement ave une bande dans la direction de diagonale comprimé MRX:

- Le mur **type A** reprend une force maximale de 60.305 KN soit une valeur de1. 15MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 6.685⁒ et le déplacement ultime vont10.09mm Ce renforcement a permis d'augmenter la ductilité µ jusqu'à 1.045%. Le module de cisaillement G (30%) est de l'ordre de 23MPa.
  (Figure III.10).Le mode de rupture s'est produit par une fissuration diagonale qui traverse des joints de mortier et des briques.

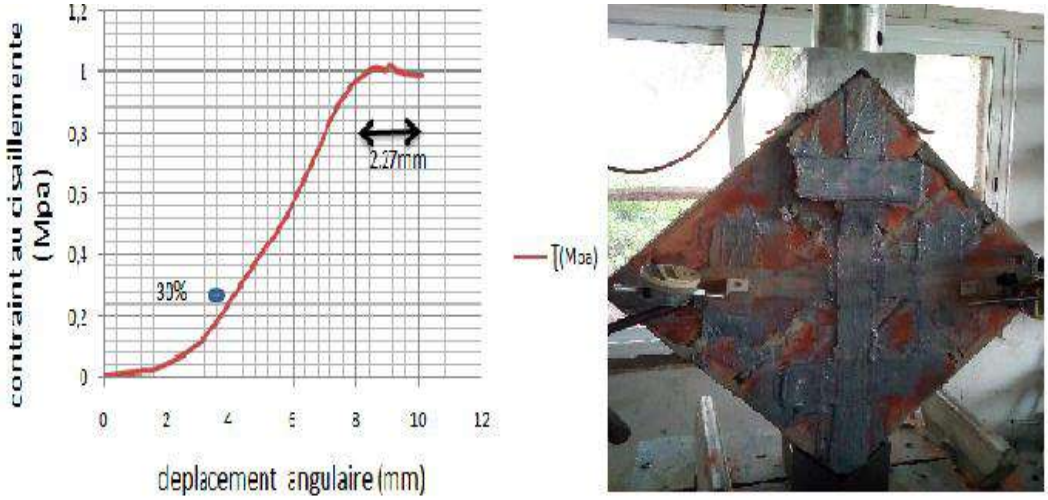


Figure III.10: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire: MRX A.

- Le mur **type B** reprend une force maximale de 67.247 KN soit une valeur de 1.132 MPa pour la résistance au cisaillement. Le déplacement élastique enregistré est égale à 62.430⁒ et le déplacement ultime vont 16.21mm Ce renforcement a permis d'augmenter la ductilité µ jusqu'à 1.045%. Le module de cisaillement G (30%) est de l'ordre de 14 MPa. (Figure III.11).Le mode de rupture s'est produit par une fissuration diagonale qui traverse des joints de mortier et des briques.

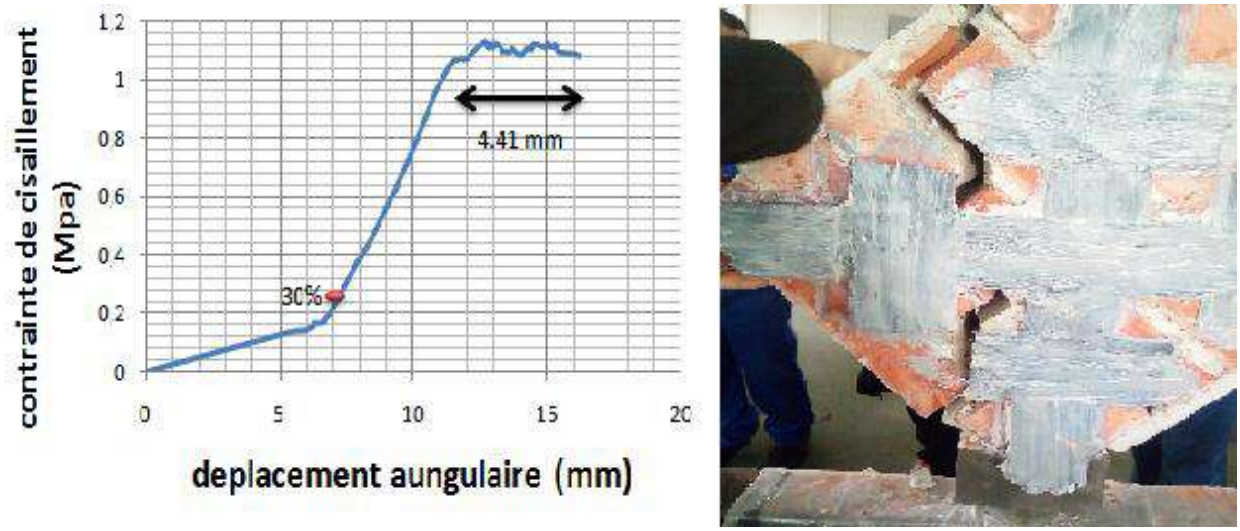


Figure III.11: Diagramme de cisaillement-déplacement angulaire MRX B.

III.2.Influence du %des fibres sur le comportement des murets:

Cette partie a été réalisé pour analysé l'influence de % de tissu de la fibre en carbone aussi le type de mortier sur le comportement au cisaillement des murets renforcés.

Les résultats montrent que les deux configurations MRH,MRX donnent une augmentation de la résistance d'un facteur 2 environ par rapport à la référence. En revanche, le renforcement avec des bandes croisées a augmenté la rigidité de cisaillement d'un facteur de 2 .

la ductilité du mur MRH est doublée par rapport à celle du mur MRX

Le renforcement des murs par une bande diagonale de TRC dont les fils résistants sont dans le sens de la diagonale allongé(MRH) a augmenté la résistance mais n'a pas amélioré la ductilité du mur .

D'ailleurs, dans le but d'éviter une rupture fragile du mur renforcé, le renforcement de la diagonale comprimée en plus de la diagonale allongée est effectué dans le cas du mur MRH Ce renforcement a permet d'avoir un comportement plus ductile et d'obtenir une augmentation de la résistance au cisaillement de 47.8% par rapport à la résistance du mur MRI

Dernièrement les murets qu'ont une disposition de tissu sur un seul diagonale verticale avec un pourcentage de 22.91% donne moins valeur de contrainte varie entre 0.4 et 0.8 MPa en remarque donc que le type de mortier aussi a une influence sur la résistance au cisaillement lorsque les murets de type B (1 :1 :5) les mieux résistent au cisaillement.

Aussi, d'après le tableau III.10, la résistance au cisaillement des murets renforcés MRX, MRH augmente de 6 % par rapport au mur témoin.

Tableau III.10: Tableau récapitulatif des résultats expérimentaux.

Nom	type	% de fibre	F_{max}(KN)	A (cm^2)	τ_{dt} (MPA)	déplacement ultime⁄.	Valeur entre G(30%) et G(70%) Mpa
MT	A	0	41.112	593.25	0.489	5.45	9.2
	B	0	48.203	593.25	0.574	6.12	8.0
MRH	A	54.06	54.958	593.25	0.925	11.12	7.7
	B	54.06	57.583	593.25	0.969	16.28	7.8
MRX	A	54.68	60.305	593.25	1.132	10.09	10.7
	B	54.68	67.274	593.25	1.15	10.09	12.8
MRI	A	22.91	27.803	593.25	0.46	7.91	11.3
	B	22.91	50.863	593.25	0.85	15.57	10.3

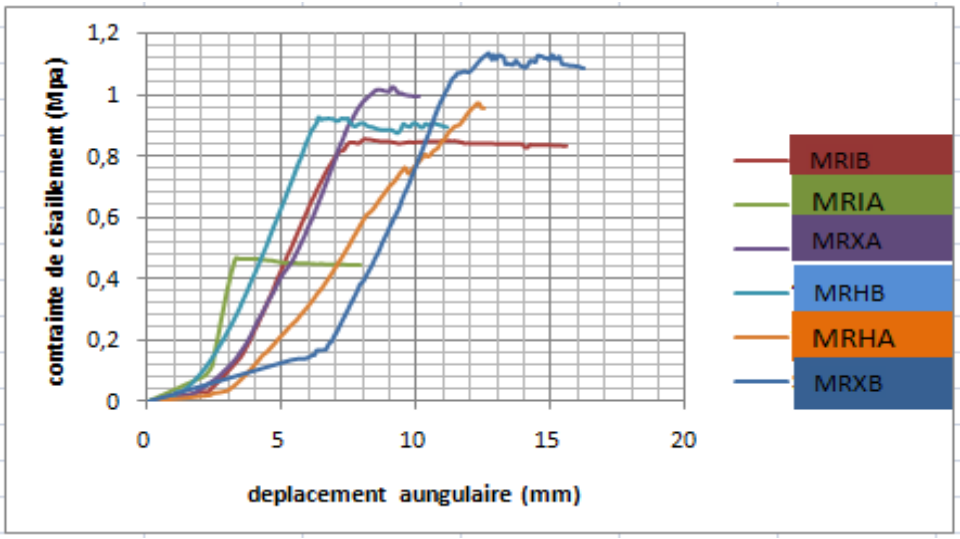


Figure III.11: cisaillement-déplacement angulaire des murées renforcée.

Une application des tissus de fibre de carbone sur une surface de 54.06% (MRX)à donner presque les mêmes résultats que ce enregistrés lorsque le tissu couvre une surface de 54 .68%(MRH). De ce fait, la disposition des fibres de carbone sur les murets joue un très grand rôle pour le renforcement.

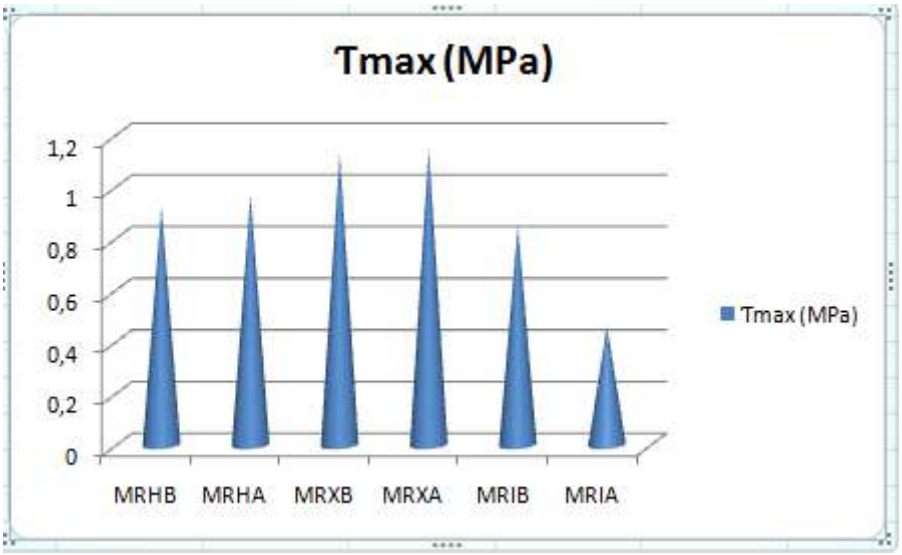


Figure III.12:Effet du taux de renforcement sur la contrainte de cisaillement.

On a remarquée que le remplissage de 54.68% de la surface est suffi pour donner des contraintes de cisaillement très élevés par rapporte les autre.

Conclusion

Le comportement en cisaillement des murs de maçonnerie non renforcés et renforcés avec TFC a été étudié. Le renforcement s'est réalisé par TRC de fibre de Carbonne unidirectionnel l'orientation et le taux de renforcement ont été variés.

- Le comportement des murs en cisaillement dépend des comportements mécaniques de la brique et du mortier, du travail du manœuvre, et de la vitesse de chargement
- Le renforcement des murs a augmenté la résistance de cisaillement et la ductilité, mais son influence sur le comportement élastique est variée. D'abord, les murs renforcés par TRC reflètent un comportement d'adoucissement qui produit différents modes de ruptures.
- Le mur renforcé avec une bande de textile sur la diagonale allongée permet d'avoir une augmentation de la résistance mais conduit à un comportement

non ductile. Le renforcement des deux diagonales (comprimée et allongée) n'augmente pas significativement la résistance par rapport à un mur renforcé sur la diagonale allongée mais il améliore la réponse ductile

CONCLUSIONS GENERALE :

Les recherches dans le renforcement des structures de maçonnerie sont relativement nouvelles. Très peu de chercheurs travaillent pour développer ce domaine. Aujourd'hui encore beaucoup de questions sont disponibles dans le renforcement des structures de maçonnerie

En effet, le renforcement diagonal est joue un rôle très important pour l'amélioration de la résistance et aussi la ductilité du mur. Ce résultat a été approuvé par Luccioni et Al [75] qui ont trouvé une amélioration de 79% de la contrainte de cisaillement, lorsqu'ils ont utilisé trois bandes de CFRP dans la direction diagonale.

Ce travail de fin d'études a eu pour objectif de répondre au questionnement principal : «commenté chargement de cisaillement influe-t-il sur le comportement de la maçonnerie en brique perforée ?

L'ensemble des essais a permis de déduire l'influence des types de mortier bâtard et le renforcement comme suite:

a) Influence de la nature du joint de mortier :
   Nous avons constate que le mortier B (1:1:5) présente la meilleure résistance au cisaillement. Par contre la résistance au cisaillement est plus faible dans le cas du mortier bâtard A (1:1:3).
b) Influence de renforcement :
   Le renforcement avec les fibres de carbone augmente la résistance au cisaillement par rapport au muret témoin. Et le pourcentage de fibre et la disposition forme de X présente meilleure résistance au cisaillement.

Annexes

Construction

Sikadur®-330

Résine d'imprégnation époxydique pour tissu de renforcement

Description

Sikadur®-330 est une résine d'imprégnation époxydique, thixotrope, à 2 composants, mélange de résine époxydique et de fillers spéciaux.
Sikadur®-330 est conforme aux exigences de la norme NF EN 1504-4 en tant que produit de collage de plaques de renforcement.

Utilisation

- Sikadur®-330 est une résine de collage/d'imprégnation utilisée pour les tissus «secs» de renforcement de structures de la gamme SikaWrap® (exemple SikaWrap®-230 C/45).
- Primaire d'imprégnation du support pour les tissus «humides» de renforcement de structures (SikaWrap®-600 C/120). Nous consulter.
- Colle structurale pour le collage des Sika® CarboDur® Lamelles sur support d'aspect fin et régulier.

Caractéristiques / Avantages

- Facile à mélanger et à appliquer, à la truelle et au rouleau
- Conçue pour les méthodes d'imprégnation manuelle de tissus « secs »
- Thixotropie: aptitude à l'application sur surfaces verticales et en sous- face.
- Excellente adhérence sur de nombreux supports (béton, mortiers, composites,…)
- Application sans primaire préalable.
- Hautes résistances mécaniques

Essais

Agréments / Essais / Normes

Conforme aux exigences de la norme NF EN 1504-4 (collage structural).
Avis Technique CSTB n° 3/07-502 (SikaWrap®-230 C/45 - Sikadur®-330)

Caractéristiques

Couleurs / consistance

Composant A: blanc
Composant B: gris
Mélange A+B: gris clair
Consistance crémeuse

Conditionnement

Kit de 5 kg

Stockage

Conditions de stockage / conservation

24 mois à partir de la date de fabrication, quand le produit est stocké dans son emballage d'origine intact, non entamé, à l'abri du gel, de l'humidité et des rayons solaires directes, à une température comprise entre +5°C et +25°C.

Caractéristiques techniques

Nature chimique

Résine époxydique.

Densité

1,30 kg/l (mélange A+B, à +23°C)

Coefficient de dilatation thermique

$4{,}5.10^{-5}$ par °C (plage de température de -10°C à +40°C)

Viscosité

Température	Viscosité
+10°C	~ 10.000 mPas
+23°C	~ 6.000 mPas
+35°C	~ 5.000 mPas

Stabilité Thermique

Heat Deflection Temperature (HDT), selon la norme ASTM D648

Temps de Durcissement	Température	HDT
7 jours	+10°C	+36°C
7 jours	+23°C	+47°C
7 jours	+35°C	+53°C
7 jours à +10 °C plus 7 jours à +23°C	+10°C / +23 °C	+43°C

Température en service -40°C à +45°C

Caractéristiques physiques et mécaniques

Résistance en traction 30 MPa (7 jours à +23°C) (selon le norme DIN 53455)

Adhérence > 4 MPa rupture dans le béton (selon la norme EN 24624)

Module d'Elasticité Flexion: 3800 MPa (7 jours à +23°C) (selon la norme DIN 53452)
Traction: 4500 MPa (7 jours à +23°C) (selon la norme DIN 53455)

Allongement à rupture 0,9% (7 jours à +23°C) (selon la norme DIN 53455)

Résistance

Résistance chimique Sikadur®-330 doit être protégé vis-à-vis des agents agressifs

Résistance thermique Exposition permanente : +45°C

Système

Composants du système Le Sikadur®-330 fait partie du procédé de renforcement de structures, par tissu de la gamme SikaWrap®:

- Primaire et Résine d'imprégnation Sikadur®-330.
- Tissu de renforcement de structure SikaWrap®

Application

Consommation La consommation varie de 0,7 à 1,5 kg/m² en fonction de la rugosité du support et du type de tissu à imprégner. Consulter la notice technique du tissu SikaWrap®.

Qualité du support Les bétons et mortiers doivent avoir au moins 28 jours.
Le support doit être propre, sec, exempt de toute trace de graisse, d'huile, de rouille, de produit de cure, d'ancien revêtement ou traitement de surface, de parties non ou peu adhérentes, de laitance.
Le support doit être sain et présenter, après préparation, une cohésion superficielle supérieure à 1 MPa.
La planéité de surface doit rentrer dans la tolérance de ± 2 mm sur une longueur de 30 cm.
Les balèvres de coffrages et saillies ne doivent pas excéder 0,5 mm. Si nécessaire, ragréer à l'aide de Sikadur-41F.
Les fissures d'une largeur supérieure à 0,25 mm doivent être injectées à l'aide de Sikadur-52, suivant les méthodes habituelles d'injection.
Les angles saillants de la structure doivent être arrondis jusqu'à obtenir un rayon d'au moins 20 mm (fonction du type de tissu SikaWrap® utilisé); Ceci peut être fait en utilisant une ponçeuse à disque diamanté.

Préparation du support Les supports en béton et en maçonnerie doivent être préparés mécaniquement par sablage ou par ponçage (au disque diamanté), afin d'éliminer la laitance de ciment, les particules friables non ou peu adhérents, et d'ouvrir la porosité de surface.
Les supports en bois doivent être rabotés, poncés, ou sablés.
Avant l'application du Sikadur®-330, toutes les poussières et autres particules non ou peu adhérentes doivent être complètement éliminées du support de préférence par brossage puis par aspiration mécanique.
Les zones de béton/ maçonnerie faibles doivent être éliminées puis réparées à l'aide de Sikadur®-41F ou un mélange de Sikadur®-30 Colle et de sable de quartz Sikadur®-501 (ratio 1 : 1 max en poids).

Conditions d'application / Limites

Température du support

+10°C min. / +35°C max.

Température ambiante

+10°C min. / +35°C max.

Humidité du support

Max. 4% (métode d'essais Sika Tramex)

Condensation / point de rosée

Attention à la condensation sur le support. Au moment de l'application du Sikadur®-330, la température du support doit être au moins 3 degrés au dessus de la température du point de rosée.

Mélange



Vider complètement le composant B dans le composant A (grand emballage).

Mélanger pendant au moins 3 minutes à faible vitesse (maxi 600 tours/minute) pour entraîner le moins d'air possible, jusqu'à obtention d'une teinte totalement homogène (couleur gris clair). Ensuite verser le mélange dans un autre contenant propre et continuer le malaxage pendant encore une minute.

Attention de ne mélanger que le nombre de kits qui pourront être mis en place durant la Durée de vie en pot.

Méthode d'application / outils



Préparation

Avant l'application, contrôler l'humidité du support, l'humidité relative et le point de rosée.

Couper le tissu SikaWrap® aux dimensions désirées.

Application du Sikadur®-330

Appliquer le Sikadur®-330 sur le support préparé à l'aide d'une truelle, d'un rouleau, d'une brosse.

Mise en place du tissu et marouflage

Sans attendre, placer et positionner le tissu dans le sens adéquat conformément aux indications fournies par le Bureau d'Etudes.

Maroufler le tissu sur la couche de résine à l'aide du rouleau marroufleur afin que la résine traverse et imprègne uniformément toute la surface du tissu SikaWrap®.

Cette opération se réalise aisément, sans forcer, dans le sens longitudinal des fibres, de façon à évacuer l'air éventuellement emprisonné, sans créer de faux plis, ni déformer le tissu.

Lisser la surface à l'aide d'une large brosse pour homogénéiser la surface du composite ainsi réalisé.

Application de couche supplémentaire de tissu SikaWrap® (en fonction des indications fournies par le Bureau d'Etudes)

Appliquer une couche de résine Sikadur®-330 (dans un délai de 60 minutes à 23°C après l'application de la couche précédente) sur la couche précédente de tissu encore fraîche et répéter l'opération précédente de marouflage Si ce n'est pas possible, attendre au moins 12 heures avant l'application.

Revêtements de finition

Quand un produit à base de ciment doit être appliqué en tant que revêtement de finition, appliquer une couche supplémentaire de résine Sikadur®-330 à raison de 0,5 kg/m², puis saupoudrer du sable de quartz pour renforcer l'adhérence du revêtement hydraulique

Quand un revêtement coloré doit être appliqué le Sikadur®-330 encore frais doit être égalisé à l'aide d'une brosse.

Recouvrement

Cas de pose dans le sens longitudinal des fibres : le recouvrement du tissu SikaWrap® doit être d'au moins 100 mm.

Cas de la pose bord à bord: la superposition des couches de tissu posées bord à bord n'est pas nécessaire.

Nettoyage des outils

Nettoyer le matériel avec le Nettoyant Sikadur (notice technique n° 6.90) avant polymérisation de la résine. Une fois durcie, la résine s'enlève mécaniquement.

Durée de vie en pot / Temps ouvert

Potlife : 90 min à +10°C - 30 min à +35°C

La durée de vie en pot (pot life) débute quand les 2 composants sont mélangés. Elle est plus courte à hautes températures et plus longue à basses températures. Plus la quantité mélangée est importante, plus la durée de vie en pot est courte. Pour obtenir une plus longue durée de vie en pot à hautes températures, diviser le produit, une fois mélangé, en plusieurs parties. Une autre méthode consiste à rafraîchir (pas en dessous de 5°C) les composants A et B avant de les mélanger.

Temps ouvert : 60 min à +10°C - 30 min à +35°C

Temps d'attente / recouvrements

Sur résine durcie :

Produits	Température support	Temps minimum	Temps maximum
Sikadur®-330 appliqué sur Sikadur®-330	+10°C	24 h	La résine durcie Sikadur®-330 > 7 jours, doit être dégraissée à l'aide du Nettoyant Sikadur et légèrement poncée au papier abrasif avant application du Sikadur®-330.
	+23°C	12 h	
	+35°C	6 h	

Produits	Température support	Temps minimum	Temps maximum
Revêtement coloré Sikagard® appliqué sur Sikadur®-330	+10°C	5 jours	La résine durcie Sikadur®-330 > 7 jours, doit être dégraissée à l'aide du Nettoyant Sikadur et légèrement poncée au papier abrasive avant application du revêtement.
	+23°C	3 jours	
	+35°C	1 jour	

Les temps indiqués sont approximatifs et dépendants des conditions ambiantes variables.

Notes sur l'application / limites

Le produit doit être utilisé par des professionnels expérimentés, qualifiés, formés.

La résine Sikadur®-330 doit être protégée de la pluie pendant au moins 24 h après l'application.

Veiller à ce que le positionnement du tissu SikaWrap® et le marouflage soit effectué durant le temps ouvert.

Pour des raisons esthétique et/ou de protection (rayons solaires directs, humidité permanente) le tissu SikaWrap® doit être recouvert en extérieur par application de mortier à base de liant hydraulique modifié (Sikatop®-107, ou Sikatop®-121) ou d'un revêtement de protection à base de résine (Sikagard®-680S Betoncolor, Sikagard®-550W Elastic ou Sikagard®-675W Elastocolor).

A basse température ou en présence d'humidité relative élevée, un résidu poisseux peut se former en surface du Sikadur®-330 durci. Si une couche supplémentaire de tissu SikaWrap ou un revêtement doit être appliqué sur la résine Sikadur®-330 durcie, ce résidu poisseux doit d'abord être enlevé à l'eau (éponge imbibée d'eau) pour permettre une bonne adhérence. Dans tous les cas, cette surface nettoyée doit être sèche avant l'application de la prochaine couche (résine/tissu ou revêtement final).

Pour les applications à basses ou à hautes températures, stocker préalablement les produits pendant au moins 24 h à l'abri du gel, de l'humidité et des rayons solaires directes, à une température ambiante adéquate favorisant le malaxage, l'application, et la durée de vie en pot.

Quand plusieurs couches supplémentaires de tissu SikaWrap® sont appliquées "frais sur frais" veiller à éviter tout mouvement, tout glissement du composite pendant le durcissement du Sikadur®-330. Le nombre de couches dépend du type de tissu utilisé et des conditions climatiques ambiantes.

Durcissement

Remise en service du système

Température	Durcissement complet
+10°C	7 jours
+23°C	5 jours
+35°C	2 jours

Les temps de durcissement indiqués sont approximatifs et dépendants des conditions ambiantes variables.

Notes

Toutes les données techniques de cette notice sont basées sur des résultats d'essais de laboratoires. Les caractéristiques mesurées peuvent varier en fonction de circonstances indépendantes de notre contrôle.

Construction

Précautions d'emploi

Chez certaines personnes, les résines époxy et les durcisseurs peuvent engendrer une irritation de la peau et des muqueuses.
Le Nettoyant Sikadur est un produit inflammable contenant des solvants aromatiques. Il doit être utilisé en extérieur.
Consulter la fiche de données de sécurité.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel.
Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.
«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Marquage CE

CE

0921

Sika Schweiz AG
Tueffenwies 16-22
CH - 8048 Zurich
1001

08

0921-CPD-2054

EN 1504-4

Produit de collage structural pour le renforcement des structures à l'aide d'armature en plaque collée (Bâtiment et Ouvrages de Génie civil)

Adhérence		≥ 14 MPa
Résistance au cisaillement par compression	50°	≥ 50 MPa
	60°	≥ 60 MPa
	70°	≥ 70 MPa
Résistance au cisaillement		≥ 12 MPa
Résistance en compression		≥ 30 MPa
Retrait / dilatation		≤ 0,1%
Ouvrabilité		65 min. à 23°C
Sensibilité à l'eau		conforme
Module d'Elasticité		≥ 2.000 MPa
Coefficient de dilatation thermique		≤ 100 * 10^{-6}
Température de transition vitreuse		≥ 40°C
Réaction au feu		Euroclasse E
Durabilité		conforme
Substances dangereuses		conformes au 5.4

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

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



متين
Matine

50kg

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitants un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)		Eau (litres)
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 (50kg)	+ X7	+ X5	+ X4	+ 25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

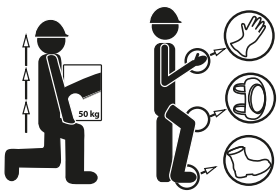
	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm^2/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Conditionnement: Sac et vrac

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98
Conditionnement : sac et vrac

LAFARGE لافارج

BUILDING TRUST

FICHE TECHNIQUE
SikaWrap®-230 C

TISSU DE FIBRES DE CARBONE UNIDIRECTIONNELLES POUR LE RENFORCEMENT STRUCTUREL FAISANT PARTIE DU SYSTÈME DE RENFORCEMENT SIKA

DESCRIPTION DU PRODUIT

SikaWrap®-230 C est un tissu de fibres de carbone unidirectionnelles à résistance moyenne développé pour être appliqué par la méthode sèche ou humide.

DOMAINES D'APPLICATION

Renforcement de structures en béton armé, en maçonnerie et en bois, pour augmenter la résistance en flexion et cisaillement pour:

- Amélioration de la résistance parasismique des murs maçonnés.
- Remplacement du manque de fers d'armature.
- Augmentation de la résistance contre la déformation des colonnes.
- Augmentation de la capacité portante des constructions.
- Modification de destination de la construction.
- Réparation d'erreurs constructives et/ou de design.
- Augmentation de la résistance aux tremblements de terre.
- Augmentation de la durée de vie de la construction.
- Mise en conformité structurelle pour répondre aux normes actuelles.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

- Fabriqué avec une trame pour maintenir la stabilité du tissu (heat-set proces).
- Tissu multifonctionnelle pour utilisation dans de nombreux types de renforcement.
- Flexible et convenant pour des surfaces de différents formes et géométries (balcons, colonnes, cheminées, poteaux, murs, plafonds, silos, etc.).
- Disponible en différentes largeurs pour une application optimale.
- Faible densité pour un excédent de poids minimum.
- Economique par rapport aux techniques traditionnelles.

ESSAIS

AGRÉMENTS / NORMES

France: CSTB - Avis Technique 3/10-669

Slovaquie: TSUS, Building Testing and research institutes, Technical Approval TO-09/0080, 2009

Pologne:

- Technical Approval ITB AT-15-5604/2011:
- Technical Approval IBDiM Nr AT/2008-03-0336/1

USA: ACI 440.2R-08, Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening concrete structures, July 2008

UK: Concrete Society Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite material, 2012 (UK)

Italie: CNR-DT 200/2004 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures

INFORMATION PRODUIT

FORME

TYPE DE FIBRE

Fibres de carbone sélectionnées à résistance moyenne

STRUCTURE DE LA FIBRE

Orientation de la fibre 0° (unidirectionnelle)

Chaîne: fibres de carbone noires (99% du poids par unité de surface)

Trame: fibres blanches thermoplastiques (1% du poids par unité de surface)

EMBALLAGE

	Longueur du tissue / rouleau	Largeur du tissu
4 rouleaux par boîte	≥ 50 m	300 / 600 mm

STOCKAGE

CONDITIONS DE STOCKAGE / CONSERVATION

24 mois à partir de la date de fabrication si stocké dans les emballages d'origine fermés dans un endroit sec à une température comprise entre +5ºC et +35ºC. Protéger de l'exposition directe au soleil.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

POIDS

235 g/m² ± 10 g/m² (uniquement les fibres de carbone)

ÉPAISSEUR DU TISSU

0,129 mm (basé sur la teneur en fibres)

DENSITÉ (FIBRE)

1,82 g/cm³

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES / PHYSIQUES

PROPRIÉTÉ DE LA FIBRE SÈCHE

Valeurs dans le sens longitudinal des fibres (selon ISO 10618)

Module d'élasticité	Valeur minimale	230 kN/mm²
Résistance à la traction	Valeur minimale	4000 N/mm²
Allongement à la rupture		1,7%

PROPRIÉTÉ DE LA LAMELLE DURCIE (En rapport avec l'épaisseur du tissu)
Couche unique, minimum 27 échantillons par série de tests (selon EN 2561*)

Épaisseur de la lamelle (nominale)		0,129 mm
Coupe transversale par 1000 mm de largeur		129 mm²
Module d'élasticité	Moyen	225 kN/mm²
	Caractéristique	220kN/mm²
Résistance à la traction	Moyenne	3500 N/mm²
	Caractéristique	3200 N/mm²

*acier adapté avec 50 mm

VALEURS DE CALCUL

La contrainte réelle de conception doit être déterminée conformément aux normes de conception pertinentes.

Les valeurs données sont relatives à une imprégnation avec Sikadur®-330 et Sikadur®-300.

Résistance à la traction	Moyenne	452 kN/m
	Caractéristique	413 kN/m
Force de traction à 0,4% d'élongation	Moyenne	116 kN/m
	Caractéristique	114 kN/m
Force de traction à 0,6% d'élongation	Moyenne	174 kN/m
	Caractéristique	170kN/m

INFORMATION SUR LE SYSTÈME

DÉTAILS D'APPLICATION

STRUCTURE DU SYSTÈME

La configuration du système telle que décrite ici doit être implémentée dans sa totalité et ne peut être modifiée.

Primaire pour béton: Sikadur®-330

Résined'imprégnation: Sikadur®-330

Tissu de renforcement structurel: SikaWrap®-230 C.

Pour informations détaillées sur le Sikadur®-330, ainsi que l'application de la résine et du tissu, consulter la notice technique du Sikadur®-330 et les directives pour l'application sèche du SikaWrap® (Ref. 850 41 02).

CONSOMMATION

Application sèche avec Sikadur®-330:

Première couche, primaire inclus: 0,8 – 1,2 kg/m²
Couches suivantes: 0,7 kg/m²

Application humide avec Sikadur®-300:

Première couche, primaire inclus: 0,8 – 1,2 kg/m²
Couches suivantes: 0,7 kg/m²

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humidé (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

QUALITÉ DU SUPPORT

L'adhérence du support doit être de minimum 1,0 N/mm² ou telle que spécifiées dans le calcul).

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humidé (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

PRÉPRATION DU SUPPORT

Le béton doit être nettoyé et préparer afin d'obtenir une texture de surface ouverte, exempte de laitance et de produits contaminants.

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humidé (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

MÉTHODE D'APPLICATION / OUTILLAGE

Le tissu peut être coupé sur mesure à l'aide d'un ciseau ou couteau spécial. Le tissu ne peut jamais être plié !

SikaWrap®-230 C est utilisé aussi bien pour la méthode sèche que pour la méthode humide.

Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humidé (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).

REMARQUES RELATIVES À L'APPLICATION / LIMITATIONS	Le produit ne peut être appliqué que par des professionnels qualifiés. Le tissu SikaWrap®-230 C est traité avec un produit afin d'obtenir une adhérence avec les colles/résines Sikadur® et une longévité maximale. Pour assurer la compatibilité totale des produits entre eux, la structure du système ne peut en aucun cas être modifiée. Le SikaWrap®-230 C peut être recouvert d'un matériau à base de ciment ou d"un revêtement, ceci à des fins esthétiques et/ou de protection, en fonction de la situation. Pour une protection complémentaire contres les UV, les Sikagard® Elastic - Decadex 550, Sikagard® AcrylDeco, ou Sikagard®-680 S peuvent être appliqués. Pour plus d'informations, consulter également les directives pour l'application du SikaWrap® pour application sèche (Réf. 850 41 02), SikaWrap® pour application humidé (Réf. 850 41 03) ou l'application humide à la machine du SikaWrap® (Réf. 850 41 04).
BASE DES VALEURS	Toutes les caractéristiques spécifiées dans cette Fiche technique sont basées sur des tests de laboratoire. Les mesures effectives peuvent varier en raison de circonstances échappant à notre contrôle.
RESTRICTIONS LOCALES	Les performances de ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre en raison de réglementations locales spécifiques. Veuillez consulter la fiche technique locale pour la description exacte des champs d'application.
INFORMATIONS EN MATIÈRE DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ	Pour des informations et des conseils concernant la manipulation, le stockage et la mise au rebut de produits chimiques en toute sécurité, veuillez consulter la fiche de sécurité la plus récente du matériau concerné, qui comporte ses données physiques, écologiques, toxicologiques, etc.
RAPPEL	Nos produits doivent être stockés, manipulés et appliqués correctement.
NOTICE LÉGALE	Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits Sika, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. L'utilisateur du produit doit tester la compatibilité du produit pour l'application et but recherchés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés du produit. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique locale correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.

POUR PLUS D'INFORMATION SUR LES SOLUTIONS SIKA POUR LE RENFORCEMENT STRUCTUREL:

SIKA SA
Refurbishment
Rue Pierre Dupont 167
1140 Bruxelles
Belgium
www.sika.be

Tél.: +32 (0)2 726 16 85
Fax: +32 (0)2 726 28 09
E-mail: info@be.sika.com

© 2013 Sika sa Belgique

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Listes des références bibliographiques

[1] : NE P 15-301

[2] : NE P 18-304

[3] : NE P 18-303

[4] : Binda L., Fontana, A., et Freigerio, G., Mechanical behaviour of brick masonries derived from unit ant mortar characteristics, in : Proc. 8th Int. Brick and Block Masonry Conf., eds. J.W. de Courcy, Elsevier Applied Science, London, UK, p.205-216, 1988.

[5] : Wesche K. Ilantzis A., General recommendations for methods of testing load bearing walls. Materials and Structures, RILEM, 13(78), p.433-445, 1980.

[6] :

[7] : Backes H.P., On the behaviour of masonry under tension in the direction of the bed
XCjoints (in German). Dissertation, Aachen University of technology, Aachen, Allemagne,1985.

[8] : Page A.W., The biaxial compressive strength of brick masonry. Proc. Instit. Civ. Engrs., Part 2, 71, p. 893-906, 1981.

[9] : Page A.W., The strength of brick masonry under biaxial compression-tension. Int. J.

Masonry Constr. , 3(1) , p.26-31, 1983.

[10] : NF P 18-542

[11]: Mann W. ET Muller H.,abrasion resistance of masonry wind proof,berlin Ernst sohn. In : manerwerk 10,pp.95-114,1985.

[12] : Fazai **Fouchal**.contribution a la modilisation numérique des interfaces dans les structures maconnées

[13] : Lourenço P.B., Assessment, diagnosis and strengthening of Outeiro Church, Portugal

Construction and Building Materials 19 p. 634–645, 2005.

[14] : CNRC-NRC, Lignes directrices pour la protection parasismique des structures de

batiments existants, Institut de recherche en construction, Canada, Decembre, 1995.

[15] : Valluzzi M. R., Binda L., Modena C., Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing, Construction and Building Materials 19, p. 63–73, 2005

[16] : Borri A., Castori G., Corradi M., Speranzini E., Shear behavior of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests,Construction and Building Materials, 25 p.4403–4414, 2011.

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

[18] : Oliveira D.V., Silva R.A., Garbin E., Lourenço P.B., Strengthening of three-leaf stonemasonry walls: an experimental research, University of Minho, 2004**.**

[19] : Vintzileou E., Iniezione di miscela fluida in muratura a sacco: Risultati sperimentali eprevisione delle caratteristiche meccaniche, Seminar CIAS Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni, pp. 191–211, 2007.

[20]: CSA-S304.1 Design of masonry structures. Canadian Standards Association.ISBN 1-55397-402-6.H.B, 2004.

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

[22] "Frocht MM. Recent advances in photoelasticity. ASME Trans 1931;55:135–53 (September–December)."

Lisle des norms utilises

- 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 poisson'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.

-**Fiche technique** : « Ciment MATINE CEM II/A 42.5 », Alger 2009.

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

NOTATIONS

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

C : Dosage du ciment

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/C : Rapport eau /ciment

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 :3) : un dosage de ciment et trois de sable

(1 :4) : un dosage de ciment et quatre de sable

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

(1 :6) : un dosage de ciment et sise de sable