REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE Dr .Yahia farés de Médéa

Faculté des Sciences et de Technologie

Département de Génie Matière

Filière de Génie Civil



Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Civil

Option : Construction&Matériaux

Thème

ETUDE DE RENFORCEMENT D'UN MURET EN MACONNERIE PAR GRILLAGE

Présenté par :

Mr : Bentegri Houcine

Mr : Limani Mustapha

proposé et Encadré par :

Mr. Bouksani Omar

Co-promoteur :

Mr. Belhamel Farid

Promotion : 2016


بسم الله الرحمن الرحيم

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier notre DIEU miséricordieux qui nous a donné la volonté, la force et la patience à achever ce travail.

Nos remerciements à nos parents, pour leurs soutiens et leurs encouragements pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tous les projets de l'avenir.

Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de prés ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

Nous remercions très sincèrement notre promoteur, Mr. Bouksani, pour son dévouement, ses conseils tout au long de

l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercions sincèrement tous les enseignants de l'université de MEDEA en particulier de Génie Civil qui ont participés à notre

formation.

Nous adressons les plus chaleureux remerciements et tout gratitude à tous nos collègues de notre promotion chacun de son nom.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier le dieu puissant

Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui ont su planter en moi tout ce qui est de plus beau en

Ce monde, et qui se sont consacrées à m'inculquer la bonne

Éducation pour avoir la plus grande des satisfactions et me voir

Munie des plus grandes distinctions.

A mes très chers parents dont je ne saurai remercier assez pour

Les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi.

A mes frères AHCENE, AMINE et le petit FETHI

A mes sœurs ASMAA et MANALE

A tout la famille BENTEGRI

A touts mes amis et spécialement M'HAMED, RADHOUANE

FOUED, BILLEL, ALI, SAMIR, MARWAN ISMAIL

Tohami, SALAH, MOHAMED …….

A Tous mes collègues des 2 années master Construction & Matériaux.

Et à toutes personnes que j'ai connues et j'ai aimées et toutes qui

M'aime

HOUCINE

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier le dieu puissant

Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui ont su planter en moi tout ce qui est de plus beau en

Ce monde, et qui se sont consacrées à m'inculquer la bonne

Éducation pour avoir la plus grande des satisfactions et me voir

Munie des plus grandes distinctions.

A mes très chers parents dont je ne saurai remercier assez pour

Les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi.

A mes frères AHMED, SABEH ,BOUDJEMAA, et le petit BEN ALIA

A mes sœurs MERIEM, HAMIDA, HDJILA et MESSAOUDA

A tout la famille LIMANI

A touts mes amis et spécialement MUSTAPHA, MOHAMED

HAMZA , DJAMEL SCI, RACHID ET AYOUB

A Tous mes collègues des 2 années master Construction & Matériaux.

Et à toutes personnes que j'ai connues et j'ai aimées et toutes qui

M'aime

Mustapha

RESUME.

Les ouvrages en maçonnerie sont soumis à plusieurs facteurs extérieurs qui le rendent faible en termes de résistance et de comportement mécanique. Pour cette raison, l'idée de faire renforcée des murs en maçonnerie par grillage. Présente une solution idéelle pour les problèmes d'endommagement des ouvrages en maçonnerie en cas de séisme. La présente étude vise à étudier l'effet de système de renforcement sur les performances globales des murs renforcés sur la base d'essais qui ont été effectués sur des murs en maçonnerie renforcés et non-renforcés sous chargement de compression en cisaillement dans leur plan.

Mots Clés : maçonnerie, murs, endommagement, grillage, renforcée, compression en cisaillement

ABSTRACT.

The building masonry are subjected to several external invoice making low in terms of resistance and mechanical behavior for this reason the idea of reinforced masonry walls by jacketing has an ideational solution to the problems of degradation of masonry structures in case of earthquake ...etc. This study aims to investigate the impact of Anchor system on the global and local performances of reinforced walls on the basis of tests that have been carried out on reinforced and no -reinforced masonry walls under in-plane shear loading.

Keywords: masonry, walls , degradation, reinforced , mesh, compression of shear plane

ملخص

يتأثر البناء بعدة عوامل خارجية تجعل مقاومة البناء ضعيفة من حيث المقاومة والسلوك الميكانيكي لهذا السبب ظهرت فكرة تعزيز جدران البناء بتدعيمها بشباك لحل مشكل هياكل البناء في حالة حدوث زلزال وتهدف هذه الدراسة الاستطلاعية إلى دراسة تأثير تعزيز الجدران و أداء النظام على أساس الاختبارات التي أجريت على جدران البناء المسلحة وغير المسلحة تحت تأثير الضغط -القص

كلمات مفتاحيه: اللبنات، الجدران، تدهور، تعزيز، شبكات، الضغط – القص

Sommaire

Introduction général	
Introduction	
Objectif et plan de travail	
Chapitre1 : maçonnerie	
1.1. introduction	**1**
1.1.1. Avantage	**1**
1.1.2. inconvénient	**1**
1.2. matériaux	**1**
1.2.1. Les éléments corps	**1**
1.2.2. Les surfaces d'une brique	**2**
1.2.3. Les liants	**2**
1.2.4. Les mortiers	**3**
1.3. Caractéristiques des constituants de la maçonnerie	**3**
1.3.1 Les briques	**3**
1.3.2. Briques de laitier	**4**
1.3.3. Briques silice-calcaires	**4**
1.3.4 Les joints de mortier	**5**
1.4. Problématique de la mise en œuvre	**6**
1.4.1 Effet de la succion	**6**
1.4.2 Qualité d'exécution des joints	**7**
Chapitre 2	
2. Introduction	**9**
2.1. Les maçonneries, phénoménologies de leurs comportements	**9**
2.1.1 Comportement dans le plan des murs en maçonnerie	**11**
• **Compression**	**12**
• **Traction**	**14**
• **Cisaillement**	**16**
2.1.2. Comportement en flexion hors plan des murs en maçonnerie	**24**
• **Les dimensions du mur :**	**24**
• **Conditions aux limites**	**24**

• **Direction des charges**	**24**
2.2Renforcement des structures	**26**
2.2.1. Méthodes de renforcement des structures en maçonnerie	**27**
2.2.2 Renforcements des murs	**28**
2.2.3 Techniques de renforcement	**31**
2.3 Conclusion	**32**
Chapitre 3	
3. Introduction	**33**
3.1. Caractéristiques des matériaux et essais expérimentaux	**33**
3.1.1Mortier	**33**
3.1.2 Caractérisation des Matériaux Utilisés dans le mortier	**33**
3.1.2.1 Ciment	**34**
3.1.2.2. Analyse chimique	**34**
3.1.2.3. chaux	**36**
3.1.2.4. le sable	**37**
3.1.2.5. Analyse granulométrique du sable	**37**
3.1.2.6. Analyse granulométrique de sable de HASSIBAHBAH	**40**
3.2.1. Règle de Correction de sable	**42**
3.2.2. Module de finesse	**44**
3.2.3. L'équivalant de sable	**46**
3.2.4. Eau de gâchage	**48**
3.2.5. briques	**48**
3.2.6. Mortiers utilisés	**49**
3.2.7. Essais de caractérisation des mortiers	**49**
3.2.7.1. Essai sur mortiers à l'état frais	**49**
3.2.7.2. Le temps de prise	**50**
3.3. Essai mécaniques sur mortiers à l'état durci	**52**
3.3.1. Résistance à la traction (norme EN1015-11)	**52**
3.3.2. Résistance à la Compression 107 ALVEZ (norme EN1015-11)	**52**
3.4. Essais de compression sur les briques	**54**
3.5. Les murs	**56**
3.5.1. Différent étapes de construction et de renforcement des murs	**56**

3.5.1.1. Méthodologie de la confection des murets	**56**
3.5.1.2.Les types de matériaux utilisées pour le renforcement	**58**
3.5.2. Essais mécaniques sur muret	**59**
3.5.2.1. Essai de compression diagonale (ASTM E-519)	**59**
3.5.2.1.1. Dispositif de l'essai	**59**
3.5.2.1.2. Principe de l'essai	**59**
3.6. INTERPRITATION DES RESULTATS	**61**
3.6.1. Mur témoin	**61**
3.7. Renforcement par grillage	**62**
3.7.1. Renforcement par grillage en plastique	**62**
3.7.2. Renforcement par grillages en acier avec des mailles de forme losange de dimension des trous (0.8x0.5) cm^2	**64**
3.7.3. Murs renforcé par grillages en Acier de maille (3.50x2.00) cm2	**65**
3.7.4. Renforcement par grillages en Acier de maille carré (0.5x0.5) cm2	**67**
3.7.5. Renforcent me par grillages en Acier de forme losange de maille (1.8x0.9) cm2	**68**
3.7.6. Renforcement par grillages en Acier de forme carré de maille (0.4x0.4) cm2	**70**
3.8. Résumé de résultats dans les graphes	**71**

Liste des tableaux

Tableau	Désignation	page
Chapitre1		
Tableau 1.1	Propriétés mécaniques des briques	**4**
Tableau 1.2	Propriétés mécaniques des mortiers suivant leur composition	**6**
Chapitre 2		
Tableau 2.1	Facteurs de correction de la résistance en compression de la maçonnerie selon	**14**
Tableau 2.2	Modes de rupture d'une maçonnerie constituée de briques a base d'argile soumise a un chargement biaxial	**23**
Chapitre 3		
Tableau 3.1	Dosage de mortier bâtard	**33**
Tableau 3.2	Dosage de mortier de ciment	**33**
Tableau 3.3	Composition chimique et minéralogique du ciment	**35**
Tableau 3.4	Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida	**36**
Tableau 3.5	Résultat d'analyse granulométrique de sable de cocassage .	**39**
Tableau 3.6	Résultat d'analyse granulométrique de sablede hassi bahbah	**41**
Tableau 3.7	comparaison entre les caractéristiques du sable de dune et celles du sable concassé.	**43**
Tableau 3.8	Analyse granulométrique de sable de dune+sable concassées	**45**
Tableau 3.9	Résultat de l'équivalent de sable de hassi bahbah	**47**
Tableau 3.10	Résultats de l'équivalent de sable pour les deux sables de concassage et de hassi- bahah	**48**
Tableau 3.11	Nature et qualité du sable en fonction de (ESV et ESP).	**48**
Tableau 3. 12	le temps d'écoulement par un mortier	**50**
Tableau 3.13	Appréciation de la consistance en fonction du temps d'écoulement	**50**
Tableau 3.14	le temps de prise pour le mortier bâtard et mortier de ciment	**52**
Tableau 3.15	Résistance en compression et celle de traction par flexion sur des éprouvettes (4x4x16) réalisé en mortier bâtard.	**53**
Tableau 4.16	Résistance en compression et celle de traction par flexion sur des éprouvettes (4x4x16) réalisé en mortier de ciment	**54**
Tableau 3.17	résultats de résistance de compression sur briques	**55**
Tableau 3.18	résultats de de résistance de compression sur briques	**55**

Tableau 3.19	la valeur maximum de force de compression diagonale et le déplacement pour les murs témoins.	**62**
Tableau 3.20	la valeur maximum de contrainte de compression diagonale et le déplacement pour les murs renforcer par grillages en plastique avec des trous de forme rectangulaire de dimension (2.4x2.6) cm ^{2}murs témoins	**64**
Tableau 3.21	la valeur maximum de force de compression diagonale et le déplacement pour les murs renforcer par grillages en acier avec des maille de forme losange de dimension des trous (0.8x0.5) cm^2	**65**
Tableau 3.22	les valeurs maximum des forces de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de maille (3.50x2.00) cm2	**67**
Tableau 3.23	les valeurs maximum de contrainte de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de maille carré (0.5x0.5) cm2	**68**
Tableau 3.24	les valeurs maximum de contrainte de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de forme losange de maille (1.8x0.9) cm2	**70**
Tableau 3.25	valeurs maximum des forces de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de forme carré de maille (0.4x0.4) cm2	**71**

La liste des Figures

Figures	désignation	page
Chapitre 1		
Figure.1.1	les défirent type de maçonnerie	**2**
Figure.1.2	les surfaces de brique	**2**
Chapitre 2		
Figure.2.1	Comportement de la maçonnerie sous l'effet d'un effort normal aux joints horizontaux	**11**
Figure.2.2	Etat de contrainte dans une éprouvette prismatique de la maçonnerie	**12**
Figure.2.3	Compression uni-axiale : Deux géométries de l'éprouvette	**13**
Figure.2.4	Essai de traction directe de la maçonnerie	**15**
Figure.2.5	Essai de traction indirect de la maçonnerie : Bond Wrench test	**16**
Figure.2.6	Cisaillement de la maçonnerie en petit échelle	**18**
Figure.2.7	Cisaillement des murs maçonnerie	**19**
Figure.2.8	cisaillement de la maçonnerie avec l'essai en compression diagonale.	**21**
Figure.2.9	Modes de ruptures pour un mur de maçonnerie sous l'effet d'un effort de cisaillement	**22**
Figure.2.10	Flexion hors plan de mur en maçonnerie	**25**
Figure.2.11	Mécanismes de ruptures par flexion avec charges en parallèle de joints verticaux	**26**
Figure.2.12	renforcement d'une structure par un grillage (polymère)	**27**
Figure.2.13	Renforcement des murs par grillage en acier	**29**
Figure.2.14	Renforcement des murs par un grillage en polymère (plastique)	**30**
Chapitre 3		
Figure.3.1	Ciment de CHELEF	**34**
Figure.3.2	chaux de Saida	**37**
Figure .3.3	sable de concassage	**37**
Figure.3.4	essai d'analyse grannulométrique.	**38**
Figure.3.5	courbe granulométrique de sable concassés	**40**
Figure.3.6	sable de hassi bahbah	**40**
Figure.3.7	courbe granulométrique de sable de hassi bahbah.	**42**
Figure.3.8	Vue du sable de dune	**43**
Figure.3.9	Vue du sable concassé.	**43**
Figure.3.10	sable corrigé après le malaxage des deux sables (sable de dune+sable concassées	**44**

Figure .3.11	courbes granulométrique du sable corrigé.	**45**
Figure. 3.12	Essai d'équivalent de sable.	**47**
Figure. 3.13	briques perforé	**49**
Figure. 3.14	Principe de fonctionnement du maniabilimètre Bdu LCPC	**50**
Figure. 3.15	Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge	**51**
Figure. 3.16	Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	**52**
Figure. 3.17	Dispositif de rupture en compression	**53**
Figure .3.18	Essais de compression sur briques	**54**
Figure .3.19	mur témoin	**56**
Figure .3.20	les murs sur lequelle se fait les essais sont presque de meme dimension et caractère	**56**
Figure .3.21	les différents etapes de construction et de renforcement des murs	**57**
Figure .3.22	renforcement des murs par grillage	**58**
Figure .3.23	Essai de compression diagonale	**60**
Figure .3.24	murs témoin	**61**
Figure .3.25	murs témoin après l'essai de Compression diagonale	**61**
Figure .3.26	Graphique de force de compression diagonale des murs témoin (murs non renforcés) en fonction de déplacement.	**62**
Figure .3.27	Renforcement par grillage en plastique de dimension de la maille (2.4X2.6) cm^2	**63**
Figure .3.28	murs après l'essai de Compression diagonal	**63**
Figure .3.29	graphique de contrainte de compression diagonal et de déplacement des grillages en plastique avec des trous de forme rectangulaire de dimension (2.4x2.6) cm^2	**63**
Figure .3.30	renforcement par grillage en Acier de maille de forme losange (0.5x0.5) cm^2	**64**
Figure .3.31	murs après l'essai de compression diagonal	**64**
Figure .3.32	graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de maille losange de dimension (0.8x0.5) mm^2	**65**
Figure .3.33	renforcement par grillage en Acier de maille (3.50x2.00) cm2	**66**

Figure .3.34	murs après l'essai de compression diagonal	**66**
Figure .3.35	graphique de contrainte de compression diagonal en fonction de déplacement des grillages en acier avec des trous de maille (3.50x2.00) cm2	**66**
Figure .3.36	renforcement par grillage en Acier de maille (0.5*0.5) cm^2	**67**
Figure .3.37	murs après l'essai de compression diagonal	**67**
Figure .3.38	graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de trous carré de dimension (0.5x0.5) cm^2	**68**
Figure .3.39	renforcement par grillage en Acier de maille de forme losange (1.8x0.9) cm^2	**69**
Figure .3.40	murs après l'essai de compression diagonal	**69**
Figure .3.41	graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de trous losange de dimension (1.8x0.9) cm^2	**69**
Figure .3.42	renforcement par grillage en Acier de maille (0.4*0.4) cm^2	**70**
Figure .3.43	murs après l'essai de compression diagonal	**70**
Figure .3.44	graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de trous carré de dimension (0.4x0.4) cm^2	**70**
Figure .3.45	Graphique représentent les résultats des forces de compression diagonale des murs en fonction de type de grillage de renforcement	**71**
Figure .3.46	Graphique représentent les résultats des déplacements des murs en fonction des types de grillage de renforcement	**72**

liste des symboles

Symboles	Notations
E/C	Rapport de l'eau sur le ciment
MF	Module de finesse de sable
S1	Pourcentage du sable de dune
S2	pourcentage du sable concassé 0/3
ESV	L'équivalent de sable a vue
(ESP)	L'équivalent de sable a piston
σ_c	Résistance à la Compression
Rf	Résistance à la flexion
F_C	La résistance à la compression de brique
τ	La contrainte de cisaillement de mur
G_{mac}	module de cisaillement
w	Largeur du muret
GP	grillages en plastique avec des trous de forme rectangulaire de dimension (2.4x2.6) cm^2
MT	Mur Témoin
GA	grillages en acier avec des mailles de forme losange de dimension des trous (0.8x0.5) cm^2
GB	grillages en acier avec des trous de maille (3.50x2.00) cm2
GC	grillage en acier de trous carré de dimension (0.5x0.5) cm^2
GD	grillage en acier de trous losange de dimension (1.8x0.9) cm^2
GE	grillages en Acier de forme carré de maille (0.4x0.4) cm2

Introduction

De nombreuses structures en maçonnerie doivent être renforcées pour supporter des charges extrêmes comme cas d'un séisme par exemple. Plusieurs solutions sont susceptibles de répondre à ce besoin. C'est bien l'emploi de grillage qui possède des performances mécaniques élevées et d'une facilité relative de mise en œuvre et aussi de sa ne demande pas une main d'œuvre qualifié est qui relativement pas cher.

Les grillages peuvent être appliqués suivant plusieurs schémas à la surface des structures maçonnées dans le but d'empêcher le glissement et le cisaillement des joints en cas de séisme. Toutefois, l'efficacité, et la valorisation, des solutions de renforcement par grillage passent par une nécessité de connexion adéquate entre le grillage de renfort et le mur sur laquelle repose. En effet, si le grillage est suffisamment possède une résistance élevée mais n'est pas connecté adéquatement au mur, il n'y aura pas d'augmentation significative de la capacité portante. Les résultats des essais ont montré que le renforcement de la maçonnerie peut conduire à une augmentation substantielle de la capacité portante et le déplacement de mur avant rupture quand un bon renforcement par grillage est assuré.

La baisse résistance de la maçonnerie nécessite un renforcement pour l'amélioration des capacités portantes d'un mur en maçonnerie, pour ce but on a proposé une technique de renforcement, c'est le renforcement par des grillage en acier /plastique

A) Objectif de l’étude :

Choisie le bonne grillage de renforcement pour les murs qui résiste plus et offre un déplacement important.

B) Plan de travail

Après une introduction donnent les objectifs de notre travail, le premier chapitre est consacré à une définition et donnent un aperçu général sur les différents matériaux entrant dans la maçonnerie et dans cette thèse.

Le second chapitre présente une étude bibliographique sur le comportement des murs en maçonnerie.

Le chapitre trois présente l’essai réalisés ainsi l’analyse et interprétation des résultats et enfin une conclusion générale.

Chapitre 1 : maçonnerie

Chapitre 1 : maçonnerie

1.1. INTRODUCTION

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

1.1.1. Avantage :

- L'emploi de la brique et de la pierre peut augmenter l'isolation d'un bâtiment, procurant un confort accru par amortissement de la chaleur de l'été et du froid de l'hiver.

- En général, la brique et la pierre n'exigent pas d'être peintes et peuvent ainsi fournir une structure dont le cycle de vie présente un coût réduit; cependant, une peinture convenablement exécutée réduit le risque d'apparition d'éclats sous les effets du gel. Le bloc de béton ou « agglo » de la variété non décorative est généralement peint ou enduit.
- L'aspect, surtout s'il est très soigné, peut conférer à la maçonnerie une impression de solidité et de durabilité.

1.1.2. Inconvénients

- Les intempéries, en particulier le gel, peuvent entraîner des dégradations en surface. Ce genre de dégradation est fréquent pour certains types de brique, mais assez rare pour les briques à base de laitier et silice-calcaires. Si de la brique (à base d'argile) doit être employée, on prendra soin de choisir des briques convenant au climat en question.
- La maçonnerie doit reposer sur une fondation stable (béton armé, pierres de fondations, ou roche naturelle). Sur des sols à dilatation, cette fondation devra être très soignée.

1.2. Les matériaux

1.2.1. Les éléments corps :

- Matériaux minéraux : la pierre, la brique, le bloc de béton, la terre, le pisé, etc.

- matériaux végétaux : la paille, la tourbe, etc.

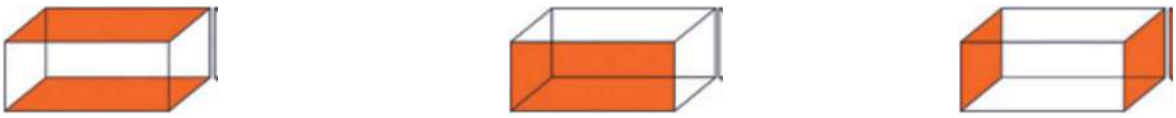


Figure 1.1 : *les défirent type de maçonnerie*

1.2.2. Les surfaces d'une brique

(NBN B 24-001)

Une brique est caractérisée par trois faces. La face de pose est la face de la brique qui est posée horizontalement dans la maçonnerie. La panneresse et la boutisse sont identifiées dans le dessin ci-dessous. Ces définitions sont toujours utilisées quand on veut indiquer une face d'une brique.



Face de pose Panneresse Boutisse

Figure 1.2 : *les surfaces de brique*

1.2.3. Les liants :

Le liant est le matériau servant à réaliser un mortier. Il peut être de l'argile, de la chaux (hydraulique naturelle ou de synthèse), du ciment, du plâtre.

- L'argile ou la terre crue est le liant présent naturellement dans la terre utilisée en construction.

- La chaux est un liant à base de calcaire, utilisé depuis des millénaires. Elle entre dans la composition des mortiers à maçonner, et peut être aussi utilisée seule avec de l'eau, pour la peinture. Elle sert également en agriculture.

- Le ciment, introduit par Louis Vicat dans la première moitié du XIX^{e} siècle, sera très utilisé par la suite en raison de ses grandes capacités mécaniques.

1.2.4. Les mortiers :

Le mortier est le mélange d'un liant et d'agrégats avec de l'eau. On distingue:

- Le mortier de **terre**. La terre utilisée en construction est celle qui se trouve à une profondeur variable en dessous de la couche végétale contenant des matières organiques. Cette terre est composée d'un liant (l'argile) et de sable. Il faut réaliser des tests afin de déterminer si la terre que l'on souhaite utiliser peut être utilisée tel quel comme mortier ou s'il convient de lui ajouter du sable, ou un autre liant.
- Le mortier de **chaux** est constitué de chaux, de sable et d'eau ; ou bien de chaux, de terre et d'eau. Il est utilisé pour maçonner, pour enduire, généralement associé à la pierre, à la brique, parfois au pisé.
- Le mortier de **ciment** est constitué de ciment, de sable et d'eau. Il est lui aussi utilisé pour bâtir et pour enduire, généralement avec des éléments de sa classe de résistance. Il est surtout utilisé pour *monter* des blocs de bétons.
- Le mortier dit **bâtard** est constitué de chaux, de ciment, de sable et d'eau.
- La **colle** est un "mortier" récent, utilisé avec les briques à isolation répartie.

1.3. Caractéristiques des constituants de la maçonnerie

1.3.1 Les briques

Les briques sont des pierres Artificielles à base de terres argileuses (briques de terre moulée et cuites), de laitier (brique de laitier) ou à base de chaux et de silice (briques silico-calcaires). Ce sont des unîtes prismatiques disponibles dans une grande variété de tailles, de textures, de couleurs et de formes. Elles peuvent être pleines, perforées ou creuses. D'une manière générale, elles sont caractérisées par leur résistance à la compression et à la traction comme indique dans le tableau 1.1 : Les propriétés des briques varient avec le mode de fabrication. Si l'on casse une brique produite par agglomération, on constate que l'état de surface de la

cassure est (mauvaise compacité). Alors que pour les briques fabriquées (la pate est pressée dans un tuyau et ensuite passée par un laminoir avant d'être coupée en briques) la cassure est "lisse" (meilleure compacité). Les briques résistantes ont une densité supérieure à 2. {La résistance à la compression des briques de bonne qualité est voisine de 40 MPa. {La résistance à la traction, mesurée par flexion, ne dépasse pas 12 MPa}.

Tableau 1.1 : *Propriétés mécaniques des briques* **[2].**

Propriétés	**Masse volumique** (Kg/m^3)	**Module Elastique (Mpa)**	**Coefficient de Poisson**	**Résistance Compression (*Mpa*)**	**Résistance Traction** (Mpa)
Granite	2000	50000	0.3	170	-
Calcaire	2000-2600	45000	0.2	5-25	25
Béton	2400	30000	0.3	10-40	4
Brique creuse	3000	35000	0.3	20	8
Brique pleine	3000	15000	0.2	40	4

1.3.2. Briques de laitier

Les briques de laitier s'obtiennent par le mélange sous presse (pression d'environ 30 Gap) d'un mélange de laitier et de liant (chaux grasse, chaux au laitier ou ciment de Laitier). La fabrication de ces briques est totalement mécanisée. En France, elles ont des Dimensions assez réduites puisqu'il faut en général 145 briques pour la construction d'un Mètre carre de mur de 22cm d'épaisseur. Elles sont surtout employées comme matériau De parement. {Les briques pleines ont une résistance a la compression qui se situe autour de 15MPa {Les briques de céramique ont des résistances qui avoisinent les 40 MPa. {En traction, les résistances varient entre 6 et 12MPa. Elles ont également un Module d'élasticité compris entre 9 et 14 GPa. Ce qui donne en moyenne pour Un mur de briques de premier choix un module de 15 GPa .

1.3.3. Briques silice-calcaires

La fabrication des briques silico-calcaires consiste a comprimer un mélange de silice 90% et de la chaux grasse a une pression de 30 MPa et a soumettre ce mélange a un jet De vapeur d'eau sous pression pendant plusieurs heures. Ces briques sont des matériaux De remplissage, la rugosité des surfaces permet l'accrochage des enduits. L'emploi des silico-calcaires légers ou denses donne des résistances µa la compression qui peuvent aller Respectivement jusqu'au 7 MPa pour des densités de l'ordre de 0.8 et jusqu'a 60 MPa Pour les densités d'ordre de 2.2.

1.3.4 Les joints de mortier

Les caractéristiques mécaniques du mortier dépendent essentiellement de la phase De préparation (mise en œuvre) et de la phase finale c'est-a-dire après le durcissement. La première phase est fonction de l'ouvrabilité du mortier. Cette caractéristique est Généralement définie par le mâcon. On ne peut pas lui donner une signification précise Par manque de norme spécifique le concernant. Ce qu'il faut retenir c'est que pendant Cette phase, le mortier doit avoir une certaine viscosité, être facile a écarter avec une Truelle et impérativement coller sur les surfaces verticales. Les ingrédients qui peuvent augmenter l'ouvrabilité du mortier sont la taille des Agrégats et la quantité d'eau utilisée pour le malaxage.

L'entrainement d'air est un Additif qui crée des bulles d'air minuscules dans le mélange. Ces bulles vont aider les Ingrédients du mortier à se déplacer plus librement. Par ailleurs, elles vont réduire la Résistance du matériau puisque la densité et la surface de liaison entre les unîtes de Maçonnerie vont être naturellement affaiblies. L'hétéro en excite des constituants du mortier, les phénomènes de prise, de durcissement, de retrait et de usage donnent a ce matériau une certaine septicité qui est Souvent difficile à prendre en compte dans les calculs. Ces paramètres du mortier sont contrôles par le choix des granulats et des liants et par leurs pourcentages respectifs Dans le mélange. Le sable est généralement le granulat employé. Il est inerte dans la Réaction chimique d'hydratation, mais participe a la compacité du mortier durci. Dans Les constructions modernes, il doit répondre à des exigences de granulométrie pour Conférer plus au moins au mortier son homogénéité. Les liants sont de nature variée ce Qui leur donne des caractéristiques mécaniques différentes. Ils sont donc très différents suivant leur conception et leur emploi.

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

-La terre argileuse est un type de liant qui a été utilise dans les constructions traditionnelles. On le reconnait à sa résistance qui est mauvaise avec le temps.

-Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pate liante. Cette dernière à une consistance de départ plus ou moins fluide, se transforme en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. La résistance à la compression du mortier est parfois considérée comme critère Principal pour choisir le type de mortier, puisqu'elle est relativement facile à mesurer. Elle se relie généralement à quelques autres propriétés, comme la résistance a la traction et le pouvoir de rétention d'eau du mortier. La résistance la à compression du mortier dépend en grande partie du contenu du ciment (la chaux et le sable) utilise et du rapport (E/C) eau-ciment. Par exemple, le rapport E/C est égal à 0,5 pour un mortier normal de type (EN 196-1).

Le tableau ci-dessus donne un aperçu des propriétés mécaniques des mortiers.

Tableau 1.2 : *Propriétés mécaniques des mortiers suivant leur composition* **[2].**

Type de mortier			**Résistance en compression (Mpa)**	
Ciment/chaux /sable	**Ciment de maçonnerie / sable**	**Ciment/sable +adjuvant**	**Test Laboratoire**	**Test in-situ**
1/0.25/3			**16**	**11**
1/0.5/4-4.5	**1/ 2.5-3.5**	**1 /3-4**	**6.5**	**4.5**
1/1/5-6	**1/4-5**	**1/5-6**	**3.6**	**2.5**
1/2/8-9	**1/5.5-6.5**	**1/7-8**	**1.5**	**1.0**

1.4. Problématique de la mise en œuvre:

Comme pour les autres matériaux de construction, la maçonnerie est affectée également par la qualité de la mise en œuvre. Dans certains cas celle-ci est négligée et a conduit à adopter des coefficients de sécurité très grands dans les règlements qui ne tiennent pas compte des facteurs impliqués et de la possibilité d'optimiser la résistance mécanique.

1.4.1 Effet de la succion:

Pour assurer une résistance optimum à la compression, il est nécessaire de limiter le départ de l'eau du mortier vers les blocs. Au moment du contact, le diamètre moyen des capillaires des blocs secs ou très faiblement imprégnés d'eau, est en général, inférieur à celui des capillaires des joints de mortier saturés d'eau. Il en résulte un mouvement d'eau dans le sens joint de mortier-bloc dû à l'existence d'une pression motrice résultant de la différence entre succion des blocs et la rétention du mortier.

La vitesse de succion décroît rapidement au fur et à mesure que les capillaires des blocs s'imprègnent et que le diamètre moyen des capillaires du mortier diminue avec la progression de l'hydratation. On peut s'attendre donc à des modifications de la cinétique d'hydratation du mortier et par conséquent à la diminution de la résistance mécanique en cas d'hydratation insuffisante.

Le départ de l'eau provoque également une rigidification du mortier ce qui augmente son seuil de cisaillement en perdant ainsi son "élasticité". L'effet de ce phénomène est encore plus important dans le cas de chargement excentré.

La solution la plus utilisée pour limiter ce phénomène consiste à mouiller les blocs avant le montage, mais les blocs saturés d'eau développent une faible adhérence avec le mortier. L'utilisation de rétenteurs d'eau dans le mortier à tendance à limiter sensiblement ce phénomène.

1.4.2 Qualité d'exécution des joints:

Un nombre important de défauts peuvent provenir d'une mauvaise exécution des joints. Plusieurs études ont été menées pour étudier ce facteur. La comparaison de leurs résultats n'est pas possible puisqu'elles ont portées sur des blocs et des mortiers de type et de caractéristiques différents. Néanmoins il ressort de leurs conclusions que:

- la qualité d'exécution des joints verticaux n'affecte pas sensiblement la résistance à la compression par contre elle n'est pas négligeable dans le cas de charges horizontales.
- Les travaux de HUREZ **[3]** ont montré une différence de l'ordre de 10% entre la résistance à la compression des murs en maçonnerie avec différente épaisseur des joints verticaux, l'épaisseur prenant les valeurs suivant (0.5, 1.0, 1.5) cm.
- L'épaisseur excessive du joint horizontal à tendance à réduire sensiblement la résistance des maçonneries.

- Rupture par contraintes principales : établie par des valeurs limites en compression ou en traction. De nombreuses études déterminent ces valeurs limites en fonction de l'orientation des joints de mortier.

Chapitre 2

Etude bibliographique

2. Introduction :

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

La maçonnerie présente un comportement très complexe, ceci est du essentiellement à l'hétérogénéité des matériaux et des techniques presque artisanales associées à sa production, qui en font un matériau très variable, difficile à normaliser. La plupart des règlements existants simplifient le comportement de la maçonnerie dans le but de fournir des critères pratiques pour l'analyse et le calcul des structures. Ces critères comportent, en général, l'utilisation des modèles linéaires qui considèrent la maçonnerie comme un matériau homogène. Ils sont proposés sur la base de propriétés mécaniques déterminées au moyen d'essais simples sur des petits murs ou des prismes, ce qui reste insuffisant pour décrire le comportement mécanique d'une structure réelle.

Les études analytiques et expérimentales sur le comportement non-linéaire de la maçonnerie ne sont pas nombreuses. La plupart des travaux publiés proposent des modèles simplifiés qui sont incapables de représenter tous les mécanismes de rupture, caractéristique de la maçonnerie, spécialement ceux associés aux décollements, glissement et frottement.

C'est pourquoi l'objectif de notre travail est de faire des essais expérimentaux, sur des murs en maçonnerie renforcé par grillage en utilisant divers matériaux locaux. Ces essais tiendront compte des caractéristiques d'hétérogénéité de la maçonnerie et les différents mécanismes de rupture, précités.

2.1. Les maçonneries, phénoménologies de leurs comportements

Généralement, les structures maçonnées sont soumises à plusieurs facteurs extérieurs et intérieurs qui les rendent vulnérables. Le temps, l'espace (lieu, environnement,...) et les matériaux de construction sont parmi les facteurs déterminants pour la sur- vie de ces structures. De plus le rôle (principal ou secondaire) attribué aux éléments en maçonnerie dans une structure influence également leur résistance. La maçonnerie est un matériau anisotrope, composé de brique et de mortier, dont le comportement suivant les deux directions perpendiculaire et parallèle au joint horizontal de mortier est différent. Par

ailleurs, la connaissance et la détermination de leur comportement mécanique est indispensable afin de prédire leur tenue et leur avenir. En effet, de nombreux auteurs (expérimentateurs) se sont penches sur cette question dans le but de comprendre le comportement de ces structures sous les différentes sollicitations aux- quelles elles sont soumises régulièrement :

- la compression uniaxiale
- La traction uniaxiale
- le chargement biaxial
- Le cisaillement

Dans ce chapitre, nous allons présenter une synthèse bibliographique sur le comportement des constituants et des structures en maçonnerie.

La résistance à 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 utilises pour obtenir cette résistance a la compression uniaxiale sont présentes sur la Figure 2.1. Le premier cas représenté est un essai sur une pile de briques (Figure 2.1-a) qui reste un essai peu représentatif de la maçonnerie du fait de la résistance de l'échantillon pendant l'essai. Le deuxième cas d'essai montre sur la Figure 2.1-b est appelé essai de RILEM. Le spécimen RILEM est assez large et représentatif.

Depuis les travaux de Hilsdorf **[4],** il à été accepte par la communauté scientifique que la rupture des structures maçonnées est induite essentiellement par la déférence des propriétés mécaniques entre les briques et les joints de mortier.

La compression uniaxiale de la maçonnerie conduit à un état de compression triaxiale dans le mortier et à une compression et a une traction biaxiale dans les éléments de briques. Il est observe dans **[4]** que des fissures verticales apparaissent initialement sur les briques tout au long de la ligne médiane du spécimen, qui se continue au niveau des joints de mortier verticaux. Avec l'évolution des déformations, les fissures verticales apparaissent de plus en plus, ce qui conduit à la rupture du prisme par une cassure au milieu de celui ci. L'exemple illustrant ce cas est montre par la Figure 2.1-c.

Le diagramme force-déplacement est obtenu sur un prisme de 500 x 250 x600mm3, compose de briques pleines en boue. On remarque que l'augmentation de la vitesse de chargement mène à une rupture de plus en plus fragile.

L'essai uniaxial dans la direction parallèle aux joints horizontaux a reçu une attention moins importante par la communauté scientifique. Cependant, la maçonnerie représente un matériau anisotrope et la résistance a l'effort de compression applique suivant les joints horizontaux peut avoir une influence sur la force ultime de rupture.

D'après Homann et Schubert **[4],** le ratio entre les résistances à la compression parallèle et normale au joint horizontal est compris entre **0.2 et 0.8**. Ces résultats ont été observes sur des éprouvettes de maçonnerie qui sont constituées par des briques pleines et perforées a base d'argile, de calcium silicate et aussi du béton léger.

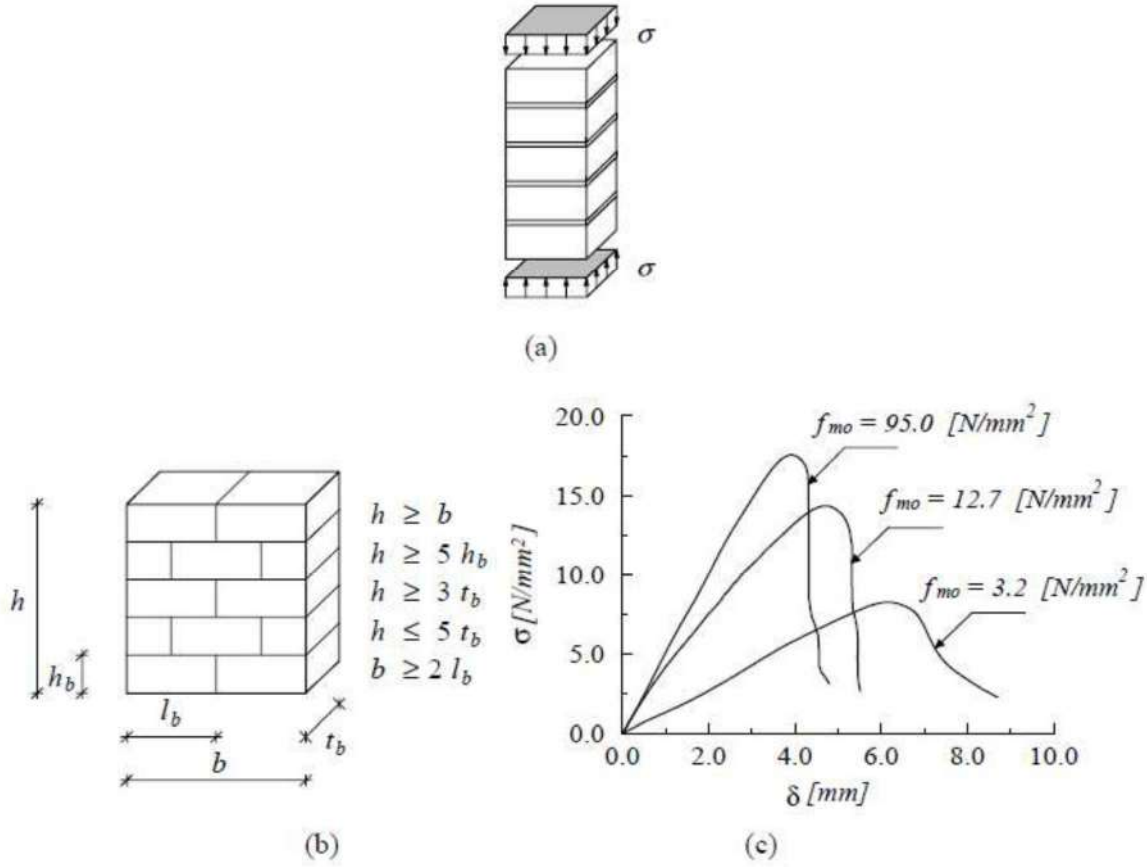


Figure 2.1 *Comportement de la maçonnerie sous l'effet d'un effort normal aux joints horizontaux (a) cas d'un empilement simple de briques. (b) Spécimen RILEM. (c) Diagramme contrainte - déformation d'un essai compression sur un prisme de maçonnerie* ***(500x250x600mm3) fm0*** *: résistance a la compression du mortier.*

2.1.1 Comportement dans le plan des murs en 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.

a. Compression

Le comportement en compression est étudié en chargement perpendiculaire et parallèle aux joints de mortier horizontaux. La résistance en compression perpendiculaire aux joints est considérée comme un paramètre important pour la caractérisation de la maçonnerie.

La rupture se produit par glissement ou fissuration du joint et accompagnée par fissuration de la brique parallèle à l'axe de chargement. La résistance en compression de la maçonnerie est influencée par les propriétés mécaniques de la brique et du mortier, ainsi que par la proportion de joint et l'âge de la structure.

L'EN 96 considère que les facteurs qui influencent la résistance en compression sont; le nombre de couches de mortier, la résistance en compression du mortier, la résistance à la traction de la brique, et la dimension du prisme de la maçonnerie testée **[5]**.

Le comportement en compression de la maçonnerie est étudié avec Zucchini et al. 2006 **[6]** dans un modèle d'homogénéisation simplifié de comportements de mortier et de blocs. Zucchini et al considèrent que le comportement de la maçonnerie comprimée dépend essentiellement de la résistance en compression et de traction de blocs.

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

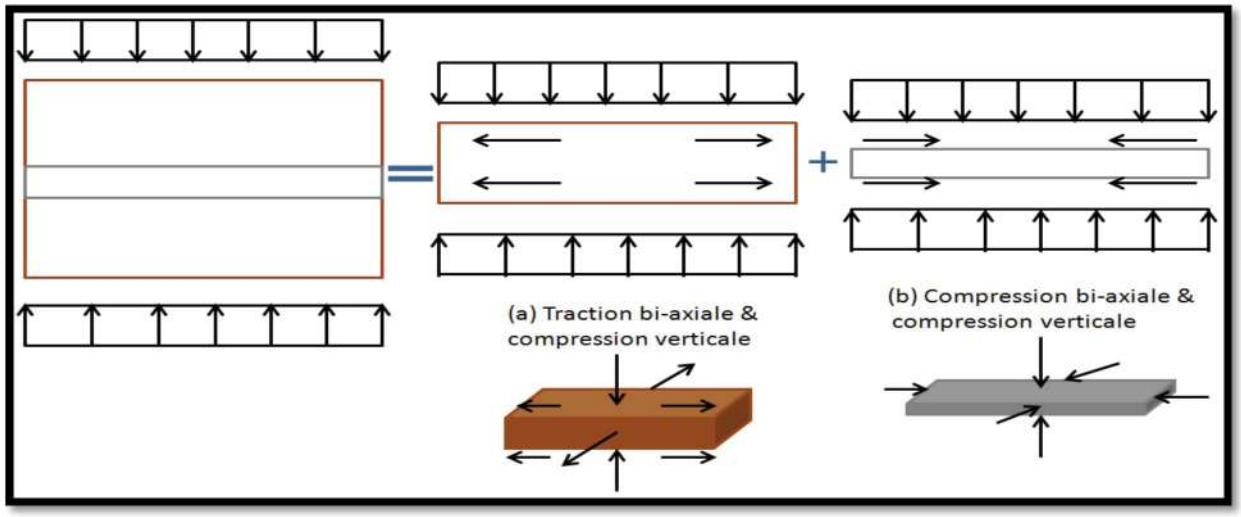
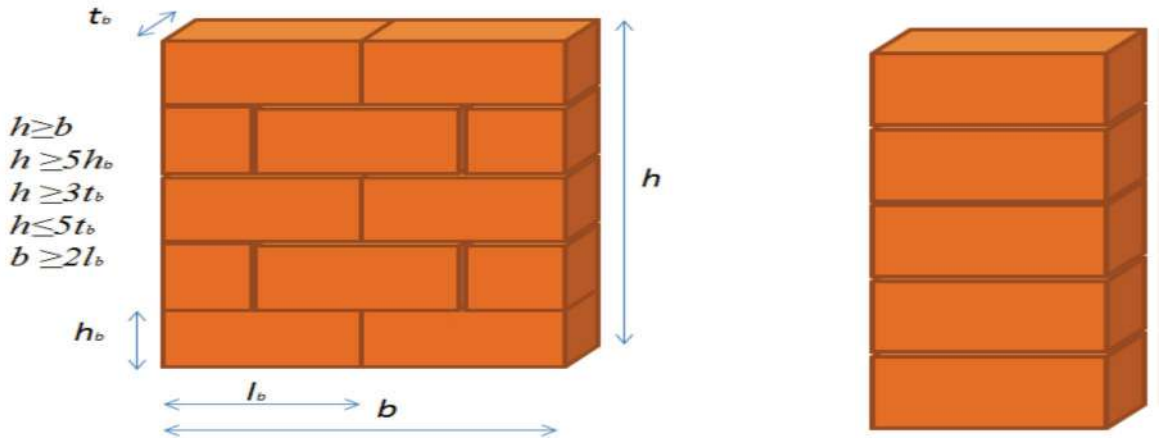


Figure 2.2 : *Etat de contrainte dans une éprouvette prismatique de la maçonnerie, (a) dans les Pierre (b) dans le mortier.*

En plus, l'augmentation de la résistance en compression de mortier augmente la résistance de la maçonnerie et réduit le déplacement vertical. Ce résultat est obtenu avec Binda et al. 1988 pour une maçonnerie de brique de terre solide **[7]**. Pourtant, Fishburn. 1961**[8]** constate que l'influence de la résistance de mortier sur la résistance de la maçonnerie est limitée. En effet, une augmentation de 130% de la résistance de mortier produit une augmentation de 10% de la résistance en compression de la maçonnerie. Et de même, une augmentation de 160% de la résistance de mortier augmente la résistance en compression de la maçonnerie de 25%.

Les normes définissent deux types de spécimens pour l'essai en compression uni-axiale, présentés dans la Figure 2.3. Les recommandations RILEM **[9]** imposent l'utilisation de spécimens dont la géométrie se présente en Figure 2.3.a. L'utilisation de cette géométrie nécessite des charges plus importantes que les charges appliquées au spécimen prismatique.

De plus, les éprouvettes prismatiques sont définis dans la norme australienne l'AS **[10]** et dans l'EN 96 **[5]** Figure 2.3.b.



(a) selon RILEM **[10]** (b) selon AS **[17]**

Figure 2.3 : *Compression uni-axiale : Deux géométries de l'éprouvette*

Petersen, 2009 **[11]** a testé des éprouvettes de maçonnerie en compression uni-axiale en respectant les conditions de l'AS. L'éprouvette est composée de sept pierres dans la hauteur et le rapport de l'hauteur-épaisseur de l'éprouvette est plus que 5 pour réduire l'effet de confinement par les platines d'acier.
Le Tableau 2.1 représente les valeurs de facteur de correction de la résistance en compression.
La norme EN 96 **[5]** impose l'utilisation de ce facteur si le rapport entre la hauteur et épaisseur du mur *(h/t)* est différent de *2*.

Tableau 2. 1: *Facteurs de correction de la résistance en compression de la maçonnerie selon* ***[5]***

h/t	*1.3*	*1.5*	*2.00*	*2.50*	*3.00*	*4.00*	*5.00*
Facteur de correction de la résistance en compression	*0.75*	*0.86*	*1.00*	*1.04*	*1.07*	*1.15*	*1.22*

La résistance en compression de la maçonnerie parallèle aux joints horizontaux est étudiée par Hoffmann et al. 1994 **[12]**, Giaquinta, 2005 **[13]** et Luccioni et al. 2011 **[14]**

La compression de la maçonnerie parallèle aux joints horizontaux produit un glissement et une fissuration des joints horizontaux. La rupture pourrait être accompagnée par la fissuration des briques dans le cas de l'utilisation de briques de faible résistance.

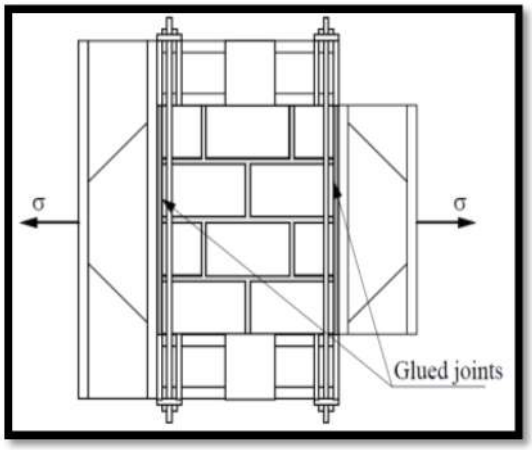
Le rapport entre la résistance en compression parallèle aux joints de mortier horizontaux et la résistance en compression dans la direction perpendiculaire à ces joints est compris entre 0.2 et 0.8 selon Hoffmann et al, 1994 **[12]**.

b. Traction

La résistance à la traction de la maçonnerie a une influence importante sur le mode de rupture. Elle dépende de la résistance à la traction des constituants de la maçonnerie, et à la résistance de cohésion entre le mortier et la pierre. Les forces de traction dans le plan de la maçonnerie sont souvent accompagnées par des charges en compression qui contribuent à augmenter la résistance de joints.

Les essais de traction directe et non directe dans le plan du mur sont présentés dans ce paragraphe. Alors que les essais de traction non directe par chargement de flexion hors plan de la maçonnerie seront présentés dans le paragraphe concernant le comportement hors plan. Les essais de traction directe consistent à appliquer des charges de traction perpendiculaires ou parallèle aux joints de mortier. L'essai de traction perpendiculaire aux joints s'effectue sur des éprouvettes composées de deux pierres avec une couche de mortier **[15]**. De plus, l'essai de traction parallèle aux joints se réalise par des éprouvettes composées de plusieurs rangées selon **la Figure 2.4**



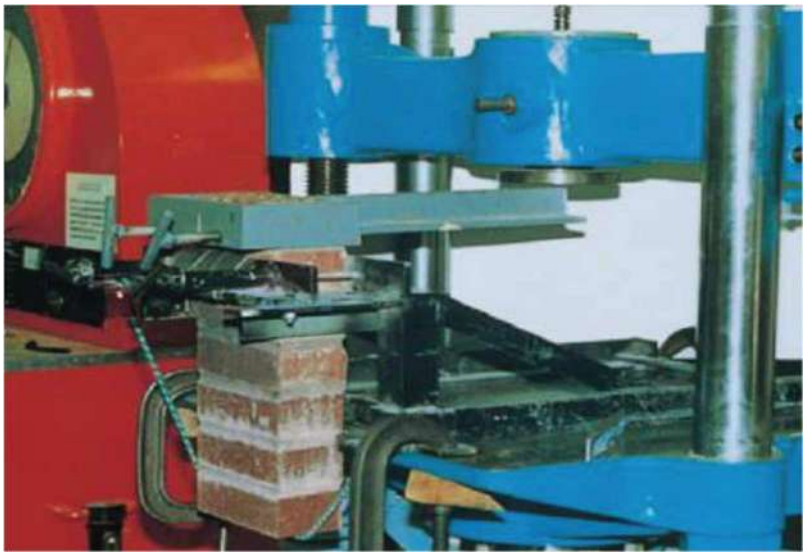


(a) charge perpendiculaire aux joints **[15]** **(b)** charge en parallèle des joints horizontaux

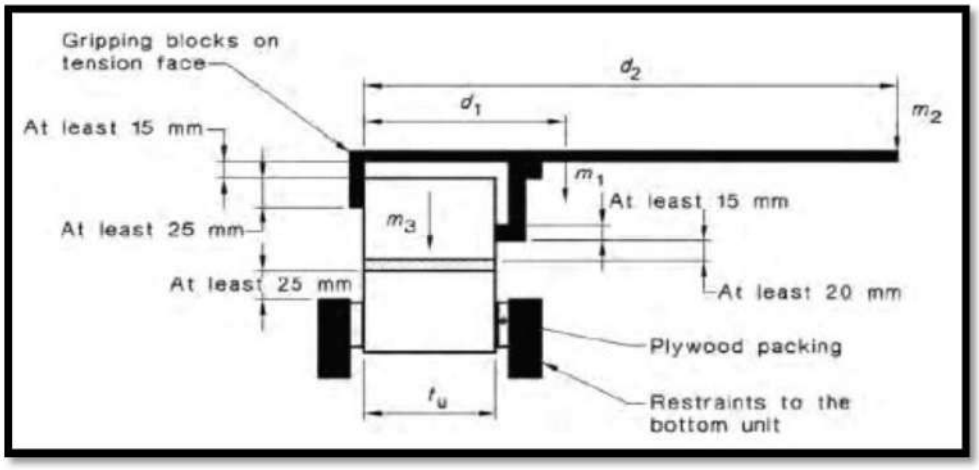
Figure 2.4 : *Essai de traction directe de la maçonnerie*

D'un autre côté, les essais de traction non directe se réalisent avec l'essai de bond Wrench. Le bond Wrench test consiste dans une application de force au bord d'un bras métallique fixé sur l'éprouvette, ce qui produit une traction par flexion dans la couche de mortier *Figure 2.15 a&b.* Le spécimen doit être constitué d'un nombre minimum de pierre de *2* selon l'ASTM C1072-2000 **[16]**. Alors que le règlement AS 3700-2001 **[18]** propose que le spécimen doive être composé de *2 à 7* pierres. La résistance à la traction directe se calcule à partir de la résistance à la traction indirecte avec l'*Équation 2.1* **[11].**

$$\sigma_{t,\,directe} = 0.5 * \sigma_{t,\,indirecte}$$ **Equation 2.1**



(a) la machine **[15]**



(b) dimension de l'essai **[18]**

Figure 2.5 : *Essai de traction indirect de la maçonnerie : Bond Wrench test*

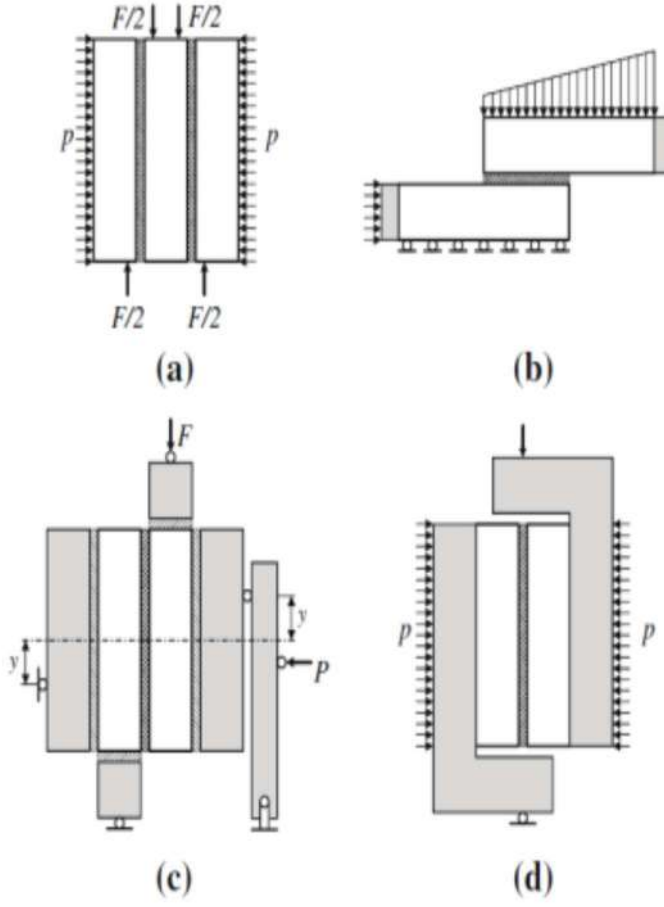
c. Cisaillement

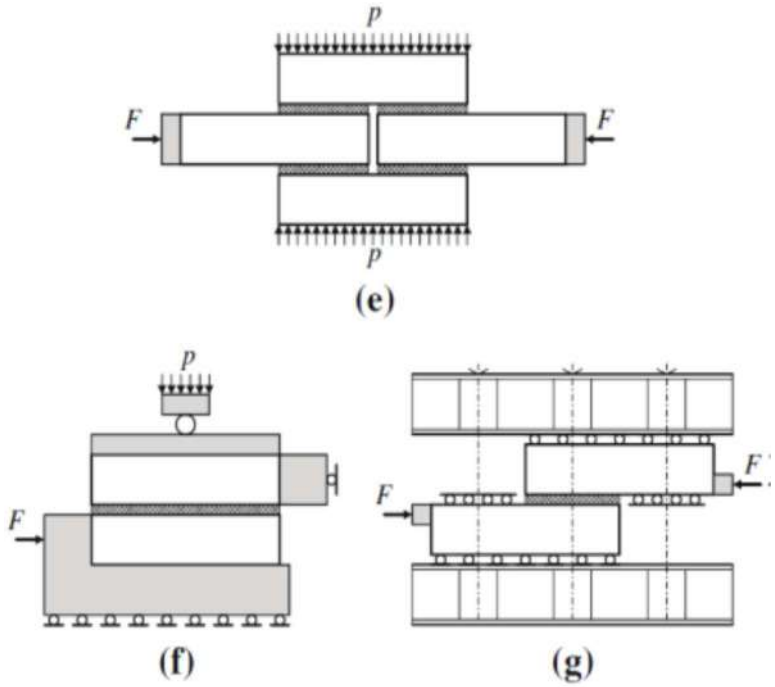
Les comportements de cisaillement de la maçonnerie peuvent être étudiés à deux échelles. A l'échelle locale, l'essai de cisaillement consiste à appliquer des forces latérales au niveau des joints dans des assemblages composés de deux, trois ou quatre pierres **[19].**

Par conséquent, un ou deux joints de mortier sont cisaillés en présence ou non de joint orthogonal aux joints cisaillés dans l'éprouvette. Figure 2.6: Cisaillement de la maçonnerie en petit échelle .b Le cisaillement pur dans les joints a été aussi étudié par Masia et al. 2007 **[20]** et Petersen 2009 **[11]** sur des éprouvettes en forme de tube fabriquées du même matériau de maçonnerie, et soumises au chargement de torsion autour de l'axe du tube. Figure 2.6.a. Les facteurs qui influencent la résistance au cisaillement de la maçonnerie sont la cohésion entre le mortier et la pierre, la résistance à la traction de la pierre, la résistance en compression de la maçonnerie et l'angle de frottement dans les joints [19].



(a) torsion de tubes **[11]**





(b) différents arrangement **[19]**

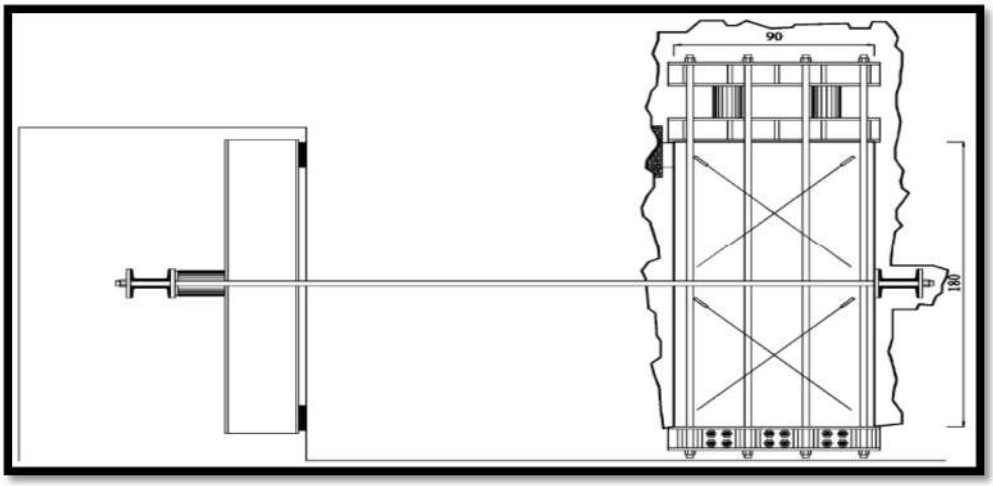
Figure 2.6: *Cisaillement de la maçonnerie en petit échelle*

Par ailleurs, l'essai de cisaillement à l'échelle globale s'effectue sur des murs de maçonnerie. Les charges appliquées varient entre compression-cisaillement, compression-flexion et compression diagonale. L'essai de cisaillement des murs permet de déterminer la résistance et de définir le mode de rupture du mur. En effet, les modes de rupture possibles des murs soumis aux cisaillements sont ;

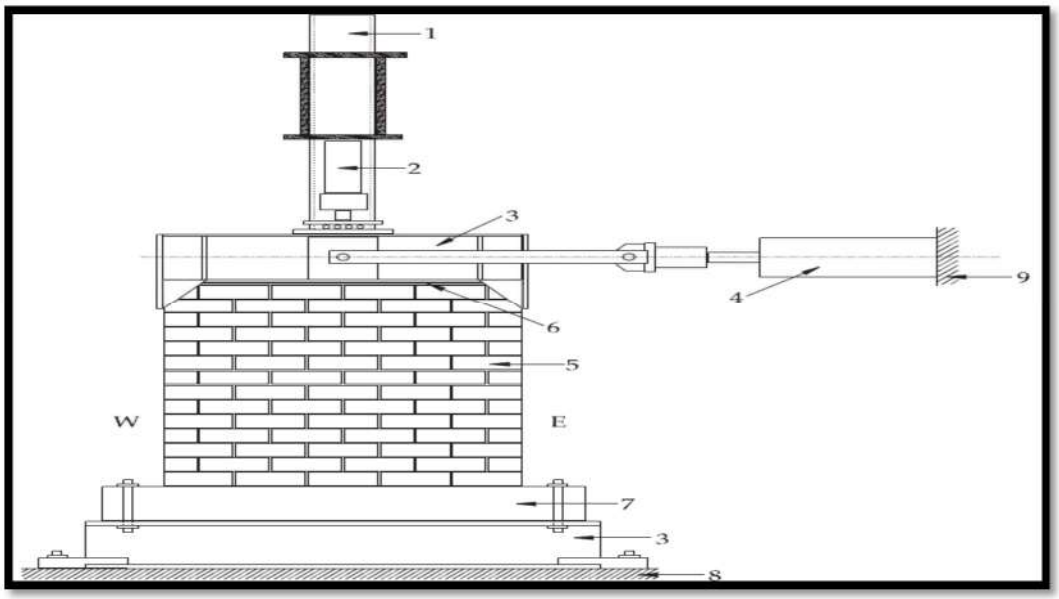
- Glissement de joints horizontaux : ce mode de rupture peut être accompagné du frottement au niveau des joints selon la valeur des charges en compression, et la rugosité des joints.
- Soulèvement d'un côté du mur : ce rupture se produit par un moment de flexion dans le plan du mur. Il peut produire une rupture par écrasement de la pierre de l'autre côté. Ces ruptures dépendent de la résistance à la traction de la maçonnerie et de la résistance en compression de la pierre.
- Rupture par cisaillement : ce mode de rupture provoque une fissuration diagonale traversant le mur. La fissuration peut passer dans les joints de mortier horizontaux et verticaux en forme d'escalier. Elle peut aussi traverser la pierre selon sa résistance à la traction et la charge compression appliquées.

L'essai de compression-cisaillement s'effectue sur un mur qui représente une poutre courte

[21]. Le mur est soumis à une compression verticale et à une force latérale au milieu de sa hauteur représenté dans la *Figure 2.7.a.* La rupture s'est produite lorsque la contrainte de traction principale, au centre de poutre, est égale à la résistance à la traction de la maçonnerie. L'essai en compression-flexion consiste à appliquer des forces latérales en tête du mur accompagnées avec des forces en compression verticale. Plusieurs paramètres influencent cet essai, tel que ; les dimensions de mur, le rapport entre le chargement en compression et flexion, et les encastrements des bords du mur. Cet essai se réalise en appliquant des charges de flexion monotone ou cyclique **[22].** La Figure 2.7.b représente le dispositif de l'essai de flexion-compression.



(b) compression-cisaillement **[20]**



(a) compression-flexion **[21]**

Figure 2.7: *Cisaillement des murs maçonnerie*

De plus, l'essai de compression diagonale consiste à appliquer une force de compression sur l'une des diagonales du mur. Cet essai est définit par l'ASTM **[23]** et le RILEM **[11]**.

L'état de contrainte dans le centre du mur sont des contraintes principales de traction $\boldsymbol{\sigma_1}$ et en compression $_2$ selon les directions de diagonales qui transposées selon la direction des joints génèrent une contrainte de cisaillement. Deux solutions analytiques élastiques ; isotrope et non-isotrope sont possibles pour le calcul des contraintes. La norme ASTM calcule la résistance diagonale de la maçonnerie avec *l'Équation 2.2* en considérant un état de cisaillement pur dans le centre du mur $\boldsymbol{\sigma_1/\sigma_2}$ =1.

$$\boldsymbol{\tau}_{dt} = \boldsymbol{\sigma}_1 = \boldsymbol{\sigma}_2 = \mathbf{p_{max}}/\sqrt{2}.\mathrm{A} \qquad \textbf{Equation2.2}$$

De plus, dans le calcul anisotrope, le rapport entre la contrainte maximale de traction $\boldsymbol{\sigma_1}$et de Compression $_2$ est d'environ *0.3* selon la théorie de *Frocht, 1930****[24]*** Le centre du mur est en cisaillement-compression, et les contraintes principales $\boldsymbol{\sigma_1}$, $\boldsymbol{\sigma_2}$ se calculent avec l'*Équation 2.3* et prennent les directions des diagonales **[25].**

$$\boldsymbol{\sigma}_1 = 0.5\frac{\mathbf{P_{max}}}{\mathbf{A}}$$

$$\boldsymbol{\sigma}_{xy=}1.05\ \frac{\boldsymbol{P_{max}}}{\boldsymbol{A}} \qquad \textbf{Equation 2.3}$$

$$\boldsymbol{\sigma}_2 = -1.62\frac{\boldsymbol{P_{max}}}{\boldsymbol{A}}$$

$$\boldsymbol{\tau}_{dt} = \boldsymbol{\sigma}_1 = 0.5\ \frac{\boldsymbol{p_{max}}}{\boldsymbol{A}}$$

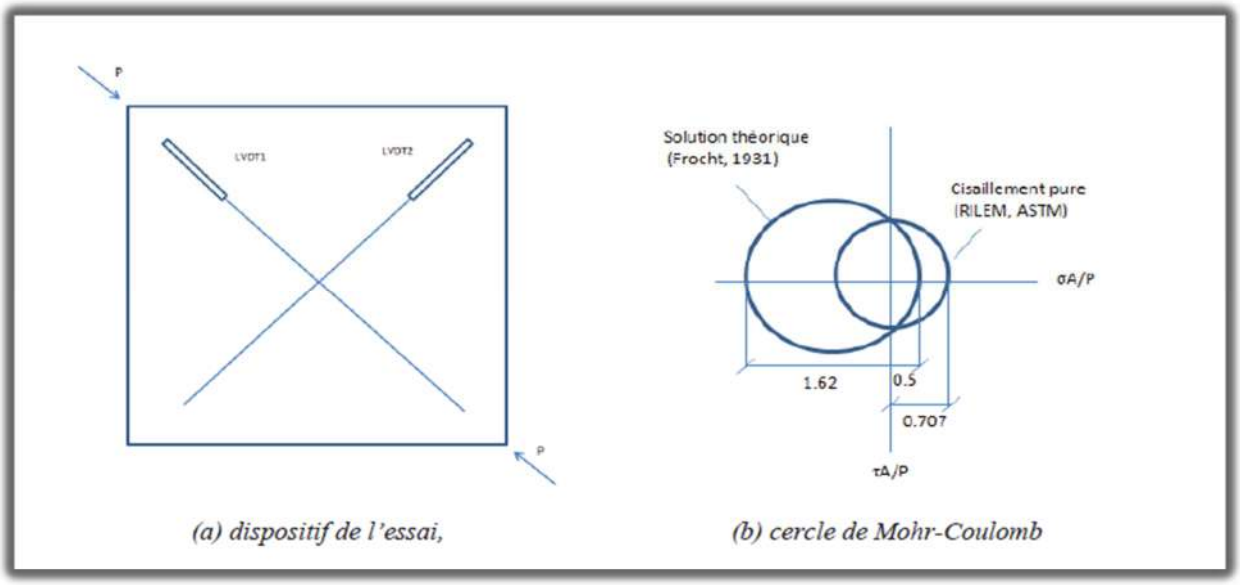


Figure 2.8 : *cisaillement de la maçonnerie avec l'essai en compression diagonale.*

Dans ce travail, le comportement en cisaillement locale, et globale de la maçonnerie est étudié en compression diagonale

Modes de ruptures pour un mur de 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

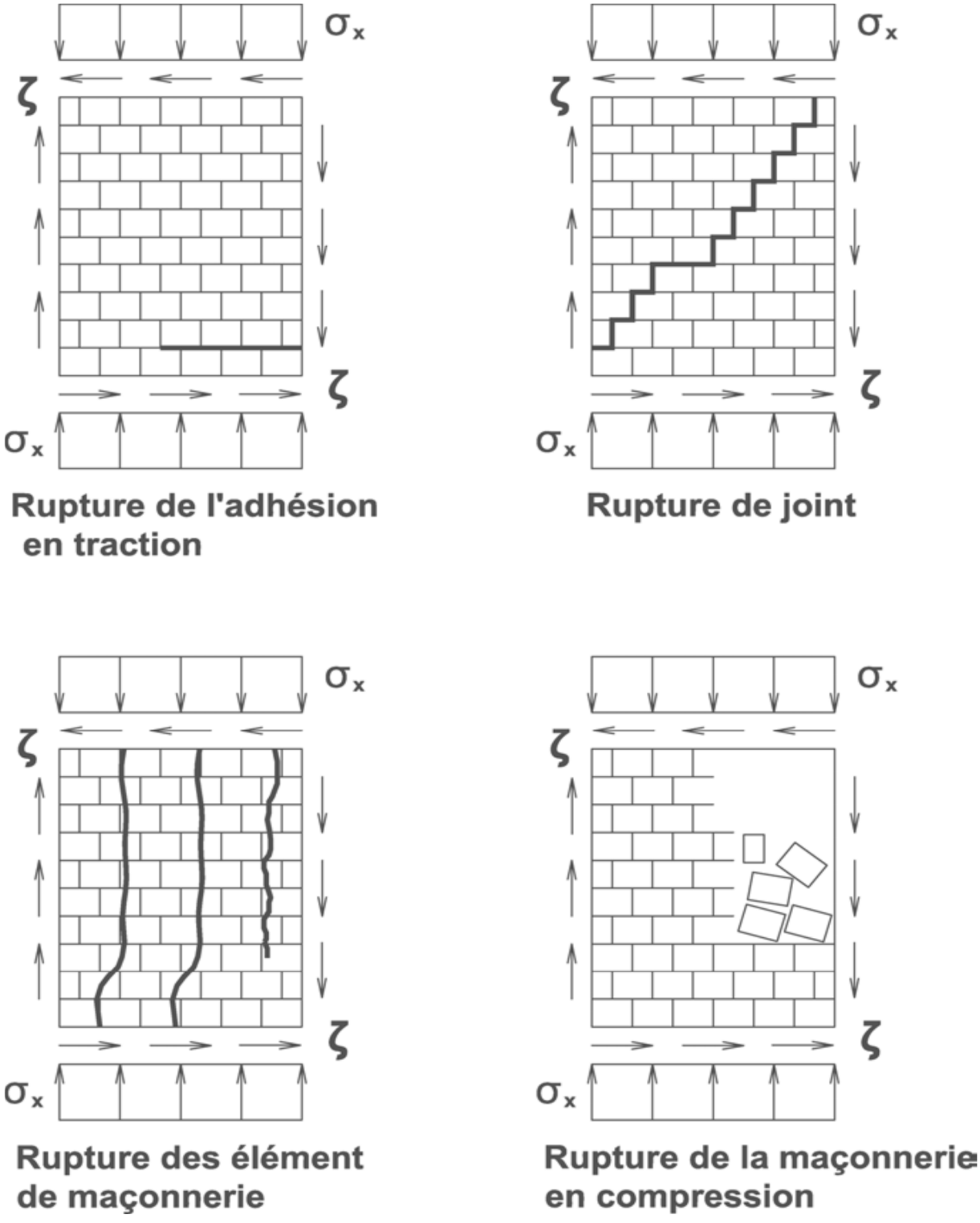
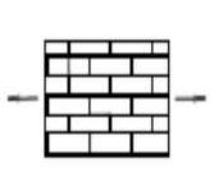
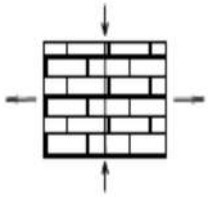
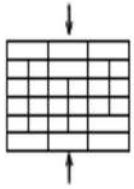
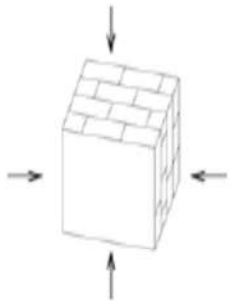
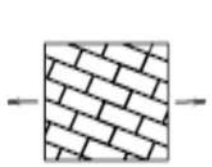
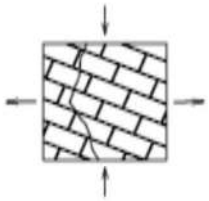
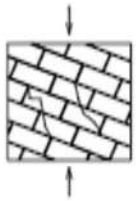
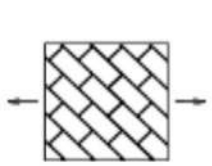
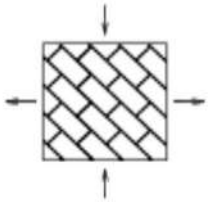
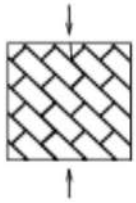
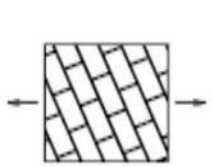
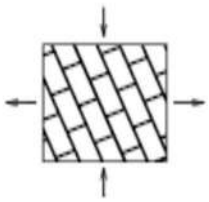
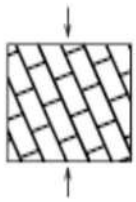
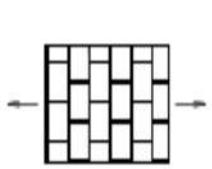
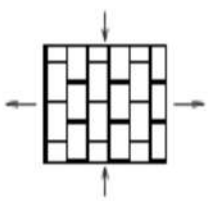
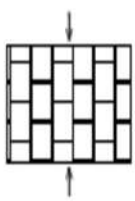


Figure. 2.9 Modes de ruptures sous l'effet d'un effort de cisaillement

Tableau 2.2 : *Modes de rupture d'une maçonnerie constituée de briques à base d'argile soumise à un chargement biaxial. D'après* ***[26]***

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

2.1.2 Comportement en flexion hors plan des murs en maçonnerie

Les charges de flexion hors plans peuvent avoir des sources différentes, Tumialan, 2003**[26] et** CNR, 2004 **[27]**. Ce chargement peut être produit par des forces sismiques, la vibration dynamique, une faille dans le mur, la pression du vent, l'excentricité des charges transmise par d'autres éléments. Les dimensions du mur, les conditions aux limites et la direction du chargement sont des paramètres importants à définir lors de l'étude de mur soumis à de la flexion hors plane.

Les essais de flexion de mur ou de poutre de maçonnerie sont mises en place pour déterminer la résistance de flexion pour plusieurs cas de chargement ; flexion 3 points, flexion 4 points, et flexion sous charges uniformément distribuées. De plus, l'EN 96**[5]** détermine la résistance des murs en flexion hors plan dans deux directions de charge ; en parallèle, perpendiculairement aux joints horizontaux.

- **Les dimensions du mur :**

Les dimensions des éprouvettes de maçonnerie testées en flexion hors plan varient dans la littérature. Par exemple, lors de chargement de flexion 4 points, l'ASTM C **[23]** nécessite que la poutre testé ait *4*, *7*, *10,13* ou *16* couches de blocs. Le rapport entre la hauteur et le largueur du mur *h/b* doit être $>$ 2,5 **[29]**.

Selon le modèle d'élément fini de Pawan et al 2013 **[29],** pour un mur de maçonnerie de hauteur *h*, de largueur *b* et d'épaisseur *t*, la résistance hors plan augmente avec la diminution du rapport d'aspect (*h/b)* et du coefficient d'élancement *(h/t).*

- **Conditions aux limites**

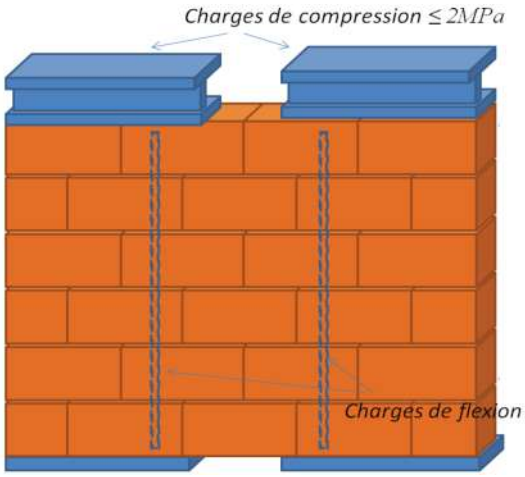
Les conditions d'appui du mur a une influence sur la direction de fissuration. Hansen, 2004 **[30]** a analysé la dépendance de la fissuration du mur sur les conditions d'appui.

Le mur peut avoir ses cotées simplement appuyés ou encastrées. Lorsqu'un angle du mur a deux supports adjacents, l'initiation de la fissuration commence dans cet angle, et provoque une fissure inclinée traversant les joints. Cette fissure se propage jusqu' à une ouverture dans le mur, ou à un bord libre. Il peut aussi se croiser avec une autre fissure verticale ou diagonale **[31].**

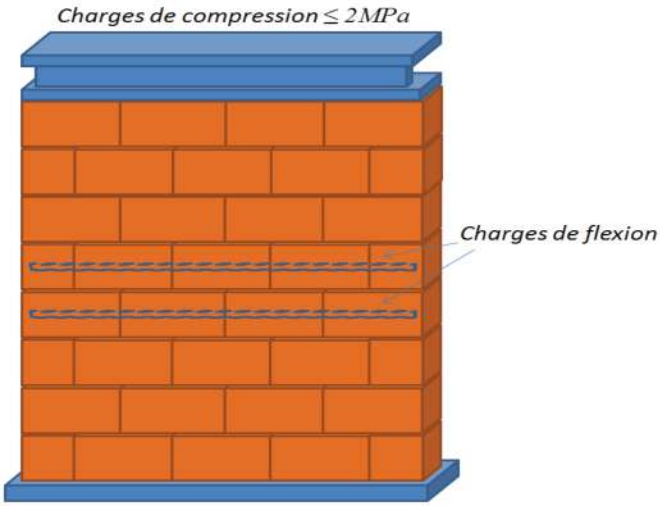
- **Direction des charges**

Selon la direction des charges par rapport aux joints, il est possible de générer un moment de flexion autour d'un axe privilégié, Figure 2.10. Un mur de maçonnerie a une résistance à la flexion sous chargement parallèle aux joints verticaux $\boldsymbol{\sigma_{ftv}}$ plus grande que sa résistance en flexion à

chargement parallèle aux joints horizontaux σ_{fth} **[33]**. En effet, les contraintes produites dans les joints horizontaux dépendent essentiellement de la cohésion entre le mortier et la pierre. En revanche, les contraintes dans les joints verticaux dépendent de la résistance au cisaillement des joints horizontaux, le rapport entre la résistance à la traction des joints et la résistance à la rotation des blocs, la résistance de cohésion des joints verticaux, et la résistance de flexion des blocs. Willis et al 2010 **[31]** constate que la rupture en flexion parallèle aux joints verticaux est produite par l'existence de plusieurs mécanismes à la fois. Il se produit une rupture linéaire traversant la pierre ou les joints, présentés dans la Figure 2.10 **[33]**.



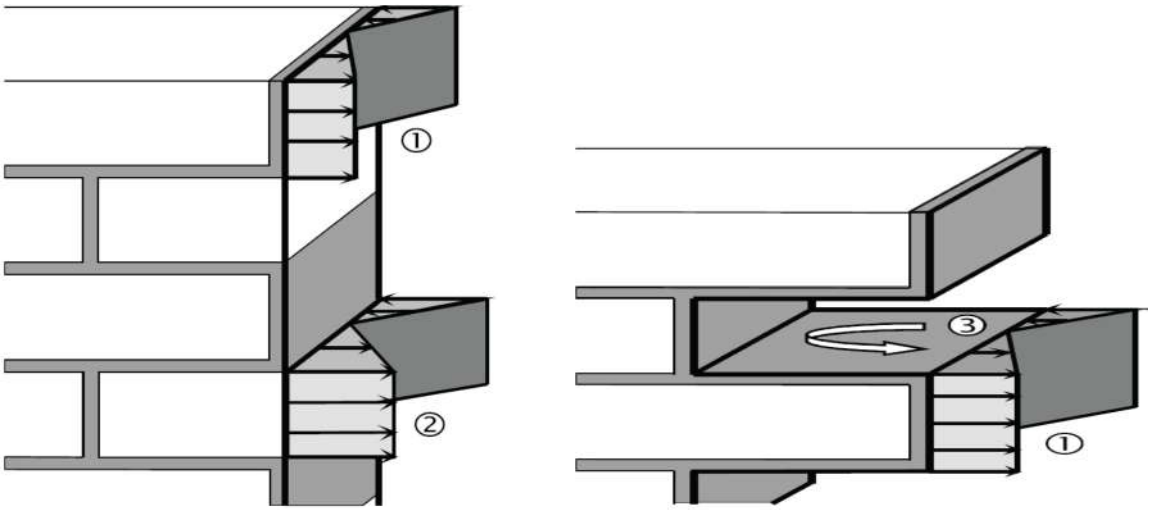
(a)



(b)

Figure 2.10 : *Flexion hors plan de mur en maçonnerie : (a) : charges verticales, (b) : charges horizontales.*

La résistance de flexion des murs est reliée à la résistance en compression de la pierre utilisée dans le mur. Pour les murs en pierre calcaire dont la résistance en compression est comprise entre *25 et 40 N/mm²*, la résistance de flexion dans les joints horizontaux vaut entre *0.05-0.4 MPa*, alors que la résistance de flexion dans les joints verticaux vaut entre *0.7-1.5 MPa* **[33]**.



(A) Fissuration de joints et de la pierre **(B)** Fissuration traversant les joints

Figure 2.11 : *Mécanismes de ruptures par flexion avec charges en parallèle de joints verticaux* ***[32].***

2.2. Renforcement des structures :

La rupture dans un élément de structure provoque un problème de transmission de charges, ce qui influence sur la rigidité de la structure. Le renforcement des structures 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 ou bien d'augmenter la capacité de structure non endommagé et d'assurer la stabilité et la rigidité a la fois.

Dans la littérature, les études de renforcement de la maçonnerie, traitent ce sujet expérimentalement et numériquement. 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.
Ce chapitre représente quelques techniques de renforcement de la maçonnerie.



Figure 2.12 : *renforcement d'une structure par un grillage (polymère)* ***[34].***

2.2.1. Méthodes de renforcement des structures en maçonnerie

Les méthodes de renforcement peuvent être divisées en deux catégories : soit le renforcement est cohérent avec la technique de mise en œuvre de la maçonnerie (catégorie 1), soit le renforcement est réalisé après la construction complète des murs et indépendamment de la méthode de construction (catégorie 2). La méthode de renforcement, de «catégorie 1 », a contribué à améliorer la technique de la construction traditionnelle des structures en maçonnerie et à augmenter la résistance et la ductilité des bâtiments maçonnés dans le cas d'actions sévères tels que le séisme, l'explosion, l'avalanche de neige.

Des matériaux résistants en traction, comme l'acier, des tubes de PVC (utilisés dans l'étude d'Al-Salloum, Y.A., Almusallam, T.H. (2005). **[33]**; ou encore des matériaux naturels comme la canne de bambou ou le bois utilisés dans l'étude sont placés dans des orifices prévus à cet effet dans les blocs de la maçonnerie, ou alors après transformation, consistant à écraser ces renforts, sont positionnés au niveau des joints comme un treillis ou armature de renforcement.

La faible résistance en traction de la maçonnerie est alors compensée par ce renforcement. En particulier, la ductilité des renforts joue un rôle important qui consiste d'une part une meilleure absorption de l'énergie de la sollicitation, d'autre part mieux éviter l'effondrement de la structure, au minimum la dissipation de l'énergie permet une retarder de rupture ce qui permet de donner le temps pour l'évacuation des bâtiments. Cette technique de renforcement par grillage est utilisée pour renforcer la structure dans les deux directions verticale et horizontale.

Le renforcement dans le sens vertical, nécessitent généralement des unités (briques, blocs) de formes spéciales, afin de libérer l'espace dans lequel on viendra insérer les barres de renfort. On peut, au lieu d'utiliser des unités de forme spécifique, prévoir des espaces lors de la construction du mur. Un exemple typique de cette méthode consiste à construire des murs épais en deux couches, ce qui permet la création de vide intérieur et donc le renforcement ultérieur par des matériaux d'appoint. Les éléments de renfort verticaux doivent être fixés à la fondation, soit à la poutre de contour ou semelle filante au niveau du plancher, soit sur la dalle support.

2.2.2 Renforcements des murs :

Le Renforcement du mur est une méthode ancienne, qui a largement développé par l'expérience. Le renforcement intègre différentes techniques telles qu'utilisation du grillage en acier, plastique etc., Par nature, ce renforcement couvre l'extérieur de la maçonnerie et renouveler l'architecture ou aspect historique de la structure. Le renforcement par grillage se compose d'un mortier de ciment mince posé sur un treillis métallique ou plastique qui agit comme renfort.

Il n'est relativement pas cher, solide, et la technique de base est facilement acquise. Le renforcement par grillage en acier n'est pas strictement une technologie «durable» car il utilise le ciment et l'acier donc il faut protéger ces deux matériaux au climat extérieur par contre au cas de renforcement par grillage en plastique qui classé parmi les matériaux au durée de vie est lente. Mais le seul inconvénient de ce type de matériau c'est bien le cas de l'incendier puisque le plastique ne résiste pas au feu.

- Les propriétés mécaniques de grillage dépendront de propriétés de maillage et les trous de grillage. Le grillage est idéal pour les logements à faible coût car il n'est pas cher et peut être fait avec les travailleurs non qualifiés.

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

Cette technique de montage augmente la résistance dans le plan latéral et améliore la paroi hors du plan de stabilité et arrondir l'action car elle augmente la résistance du mur par rapport au mur non renforcer. Une autre technique est représentée par l'application d'un plâtre renforcé à la paroi. Une mince couche de plâtre de ciment appliqué sur haute résistance et de l'armature en acier peut être utilisée pour la modernisation.

L'acier peut être disposé en diagonale ou sous forme de barres comme une grille verticale et horizontale.

Un plâtre renforcé peut être appliqué comme le montre la figure 2.12 (b). En diagonale test de tension et les tests cycliques statiques, la technique était capable d'améliorer la résistance dans le plan d'un facteur de 1,25 à 3. L'amélioration de la résistance dépend de l'épaisseur de la couche de renforcement, la résistance du mortier de ciment, la quantité de renforcement et des moyens de sa liaison avec la paroi de mur, et le degré de résistance de maçonnerie.

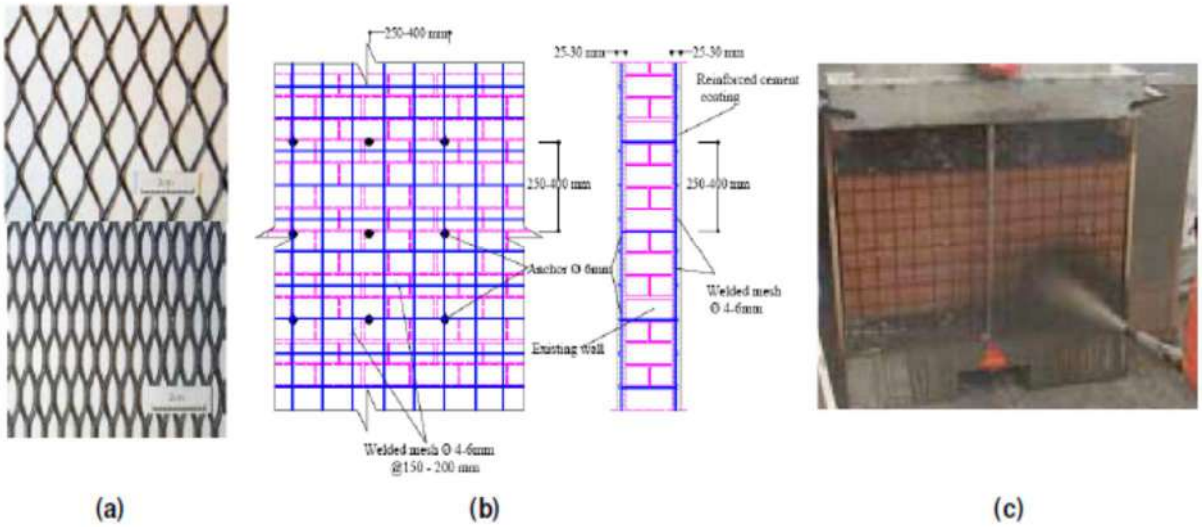


Figure 2.13. *Renforcement des murs par grillage en acier.*

(a); agencement typique de renforcée plâtre

(b); application de couche de revêtement

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

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

Le grillage possède un grand nombre des propriétés physiques et mécanique mais d'abord il faut bien déterminer ses propriété par l'essai physique et mécanique pour s'avoir les points fort de ce type de matériau et éviter les points faible par ce que la mauvaise utilisation de ce type de matériaux donne des résultats bien pires que les résultats souhaité.

La sélection de grillage pour une application particulière doit être fondée sur la connaissance, l'expérience et une étude concentrée sur les performances de grillage. Le Renforcement par grillage augmente de manière significative la capacité de dissipation de l'énergie due au séisme. Cette technique de mise en conformité se dissipe haute énergie due à successive l'allongement et le rendement de l'armature en tension.

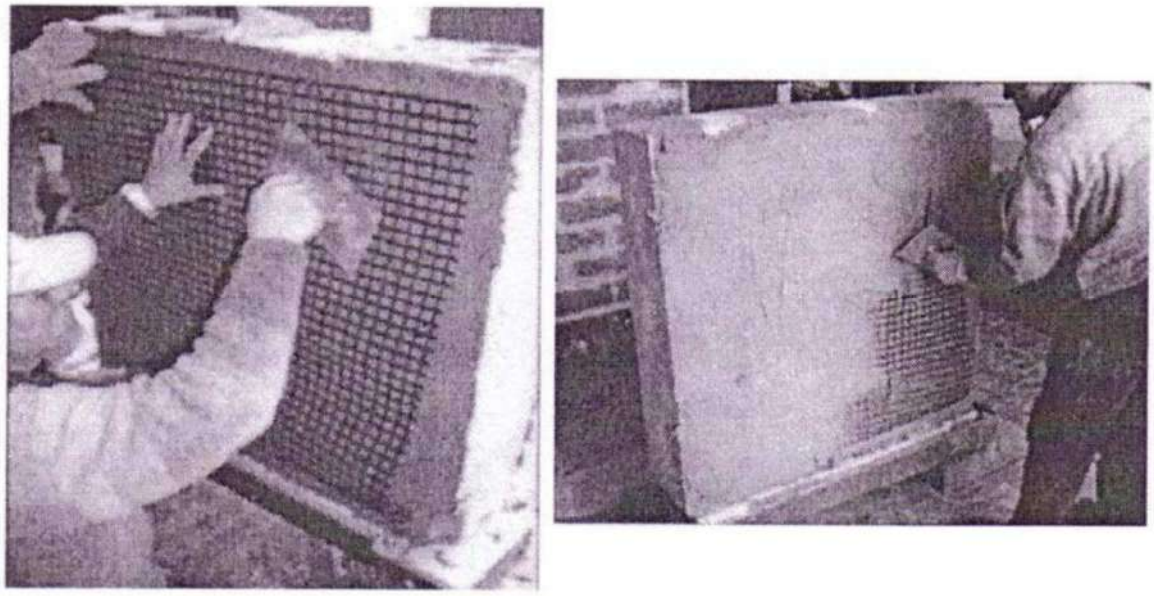


Figure 2.14 : *Renforcement des murs par un grillage en polymère (plastique)* ***[35].***

2.2.3 TECHNIQUES DE RENFORCEMENT :

Comme indiqué précédemment, au cours des années les chercheurs ont développé le renforcement des différentes techniques basées sur l'utilisation de grillage lié à l'extérieur des surfaces de l'élément à renforcer. Ces techniques peuvent être décrites en termes de renforcement,

En général, le renforcement est une techniques peuvent être consacrés à l'amélioration de la capacité de la sortir du plan de flexion, le cisaillement dans le plan, la résistance et la ductilité du système pour laquelle le renfort est appliqué.

Plusieurs travaux de recherche expérimentaux ou analytiques ont été réalisés sur le plan in- réponse des murs renforcés de grillage en acier ou bien plastique. Un examen de certaines configurations dans le plan d'utilisés des tests pour étudier la réponse de cisaillement d'éléments renforcés.

Dans ces cas, la stratégie de renforcement est basée sur les propriétés physiques et mécaniques. Il est à noter que ce renforcement lié à la maçonnerie il possède des phénomènes mécaniques complexes En particulier, pour connaitre le comportement de mur ont utilisé des tests classiques de compression en diagonale. Pour explorer la réponse en cisaillement au plan des panneaux de briques de maçonnerie renforcée avec le grillage et comparé les résultats expérimentaux avec les murs non renforcé. Dans l'étude citée la différence de l'efficacité de grillage qui est été tester pour les deux côtés (symétrique) ou pour un côté (non symétrique) L'efficacité de renforcement de grillage est évaluée grâce à des tests sur les murs de maçonnerie renforcés. Tels que le décollement de la surface des briques du mur au l'influence du frottement et la dilatance dans la brique de mortier sur interface de renforcement.

Certains résultats ont montré que le renfort améliore de manière significative la stabilité latérale des parois, et augmente la résistance au cisaillement, et le déplacement maximum avant la rupture, et le déplacement et la charge à la première fissure (ElGawady et al. 2005) **[36]**, (Santa Maria et al. 2006) **[38],** (Chuang et al. 2003)**[38].** Enfin, certaines études ont été menées sur des assemblages élémentaires cisaillement de maçonnerie, tels que celle représentée à la plutôt que des murs de maçonnerie entiers ou des panneaux, afin d'identifier et étudier les mécanismes élémentaires dans la réponse de la résistance de maçonnerie renforcée au lieu de l'évaluation de l'efficacité globale du renforcement (Faella, C., Martinelli 2010) **[39].**

En outre, dans ces études, la différence par rapport à certains travaux de recherche précédents pose sur l'examen de renforcement des grillage appliquées perpendiculairement aux joints de mortier, considéré comme un renfort en ce qui concerne non seulement la brique de mur , mais aussi pour la

rupture en mode de glissement des éléments. Une approche similaire, en utilisant aussi assemblages de brique simple renforcée par des moyens de renfort de superposition placés à travers le mortier une articulation, a déjà été examinée par (Ishani et Saadatmanesh, 1997) **[40].**

2.3 CONCLUSION

L'analyse bibliographique nous a permis de constater que, malgré la grande quantité de travaux effectués, qu'il reste beaucoup d'inconnues relatives au comportement de la maçonnerie structurale et le renforcement des murs.

Il reste, en particulier, à préciser l'influence de certaines variables telles que :

- Variation de la nature du mortier (mortier en ciment, mortier de chaux, mortier bâtard etc.) ;
- Variation de l'épaisseur du joint de mortier et de grillage ;
- La disposition des joints verticaux par rapport aux sollicitations verticales ;
- La géométrie de la maçonnerie.
- Variation de type de matériau de grillage (acier, plastique).

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

Le plan du travail envisagé est le suivant :

Une étude expérimentale sur des panneaux en maçonnerie de dimensions (300 x 300 mm²) en utilisant des matériaux locaux (briques perforé). Ces panneaux sont soumis à un chargement (compression diagonal) et varient les paramètres suivants varié :

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

b) l'épaisseur de grillage,

c) la dimension des trous de grillage

Chapitre 3:

Etude expérimentale

Chapitre 3: Etude Expérimentale

3. Introduction :

Dans ce chapitre nous avons faire une étude expérimentale sur des murs de modèle réduites réaliser en brique perforé de dimension (70x105x55) mm ^{3} et renforcer par des différent type de grillage (plastique, acier) et chaque type de grillage possède une épaisseur et dimension des trous varier dans le but de choisir le meilleure renforcement des murs qui sont réaliser de même façon et par les même condition pour fixé les paramètre des murs .

3.1 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET ESSAIS EXPERIMENTAUX :

3.1.1Mortier :

a) Le mortier dit bâtard est constitué de chaux, de ciment, de sable et d'eau **(il est utilisées pour la construction des murs dans cette étude expérimentale).**

b) Le mortier de ciment est constitué de ciment, de sable et d'eau **(il est utilisées pour le revêtement pour cette étude expérimentale).**

MORTIER BATARD

Tableau 3.1 : *dosage de mortier bâtard*

Matériaux et le rapport (E/C)	Ciment (chlef)	Sable concassé	Chaux (Saida)	E/C
Dosage	**1**	**6**	**1**	**0.8**

MORTIER DE CIMENT

Tableau3.2 : *dosage de mortier de ciment*

Matériaux et le (E/C)	Ciment (chlef)	Sable corrigée	E/C
Dosage	**1**	**3**	**0.65**

3.1.2 Caractérisation des Matériaux Utilisés dans le mortier :

3.1.2.1 Ciment

Au cours de cette étude nous avons utilisé un ciment portland composé (CPJ-CEM II /A 4,25 produite par L'ENTREPRISE DES CIMENTS ET DERIVES DE CHLEF

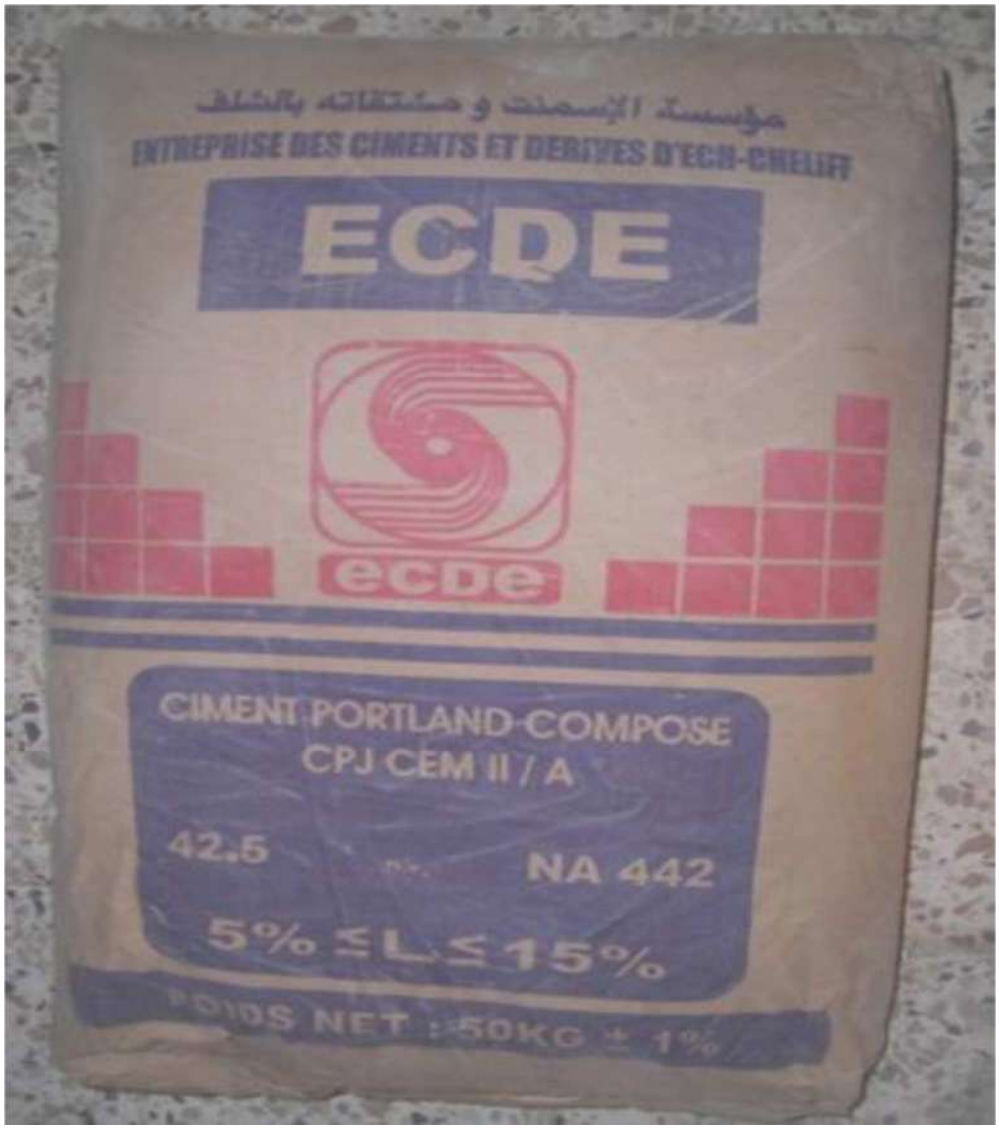


Figure. 3.1 : *Ciment de CHLEF*

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.

L'analyse chimique et physiquo-mécanique du ciment donnée par le fournisseur est présentée dans les tableaux 3.3 et 3 .4.

3.1.2.2. Analyse chimique.

Tableau 3.3 : *Composition chimique et minéralogique du ciment*

Composition chimique	
Eléments	**Teneur (%)**
SiO_2	21.91
AL_2O_3	5.19
Fe_2O_3	2.94
CaO	60.41
MgO	1.60
K_2O	0.54
Na_2O	0.16
SO_3	2.19
Cl^-	0.02
P.A.F	3.83
R.Ins	3.57
CaO Libre	1.01
Composition minéralogique	
Eléments	**Teneur (%)**
C_3S	57.44
C_2S	17.36
C_3A	9.52
C_4AF	9.57

3.1.2.3 Chaux

La chaux éteinte (NHL) est une poudre blanche issue de la carrière de chaux de Hassasna de SAIDA. Elle est fabriquée par la société BMSD selon les normes DIN1060. Ces propriétés physiques et chimiques sont données au tableau 3.2.

Tableau 3.4 : *Propriétés physiques et chimiques de la chaux de Saida*

Eléments	Engenderment	teneur (%)
CaO [%]	> 73.3	78.81
MgO [%]	< 0.5	/
Fe_2O_3 [%]	< 2	2.08
Al_2O_3 [%]	< 1.5	
SiO_2 [%]	< 2.5	/
SO_3 [%]	< 0.5	2.43
Na_2O [%]	0.4 - 0.5	0.29
K_2O [%]		/
CO_2 [%]	< 5	4.68
$CaCO_3$ [%]	< 10	
P_{erteau} Feu 1050° [%]		35.76
H_2O [%]		1.08
Densité spécifique [g/cm^3]	2	
Plus de 90 µm [%]	< 10	
Plus de 630 µm [%]	0	
Matériau insoluble [%]	< 1	
Densité apparente [g/l]	600-900	



Figure 3.2 : *chaux de Saida*

3.1.2.4. Le sable

Dans ce travail on a utilisé le sable concassé de dimension 0/5 carrière EL MHIR et sable de dune de carrière HASSI BAHBAH

Sable 1: sable de concassage (0/5)



Figure 3.3 : *sable de concassage*

Remarque : ce sable est utilisé pour la construction de maçonnerie

3.1.2. 5.ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE SABLE N°1 :

Description de l'essai Analyse granulométrique :

Le matériau séché, de masse M, est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers haut. En partie inférieur, on dispose un tamis de 0.08mm sur montant un fond étanche afin de récupérer les éléments fins qui passant à travers cette tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de variations de la tamiseuse. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R1 la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé. Soit R2 la masse du refus deuxième refus. La somme R1+R2 représente le refus cumulé sur le deuxième tamis. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaitre la masse des refus cumulés Rn aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisa présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé. Soit P sa masse.

La somme de refus cumules mesurés sur les différents tamis et du tamisa sur le fond (fillettes) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tète de colonne. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ



Figure 3.4 :*Essai d'analyse grannulométrique.*

pour un poids de 1000g :Nous avon trouver .

Tableau3.5: *Résultat d'analyse granulométrique de sable de cocassage.*

Tamis (mm)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulés(%)
5.00	**7.2**	**0.72**	**99.28**
4.00	**42**	**4.2**	**95.8**
3.15	**130.7**	**13.07**	**86.93**
2.00	**349.7**	**34.97**	**65.03**
1.25	**531.7**	**53.17**	**46.83**
1.00	**596.5**	**59.65**	**40.35**
0.80	**664**	**66.4**	**33.6**
0.63	**710.9**	**71.09**	**28.91**
0.50	**763.6**	**76.36**	**23.64**

0.315	**838.1**	**83.81**	**16.19**
0.16	**925.7**	**92.57**	**7.43**
0.08	**997.7**	**99.77**	**0.23**
fond	**998.4**	**99.84**	**0.16**

MF= $1/100 \sum$ Refus cumulés en % des tamis $\{0.16\text{-}0.315\text{-}0.63\text{-}1.25\text{-}2.5\text{-}5\}$

MF=3.2

Le module de finesses est engendré entre **[2.8 et 3.3]** : le sable est un peu grossier et mal gradue. Il donnera des résistants élevée mais moins maniables.

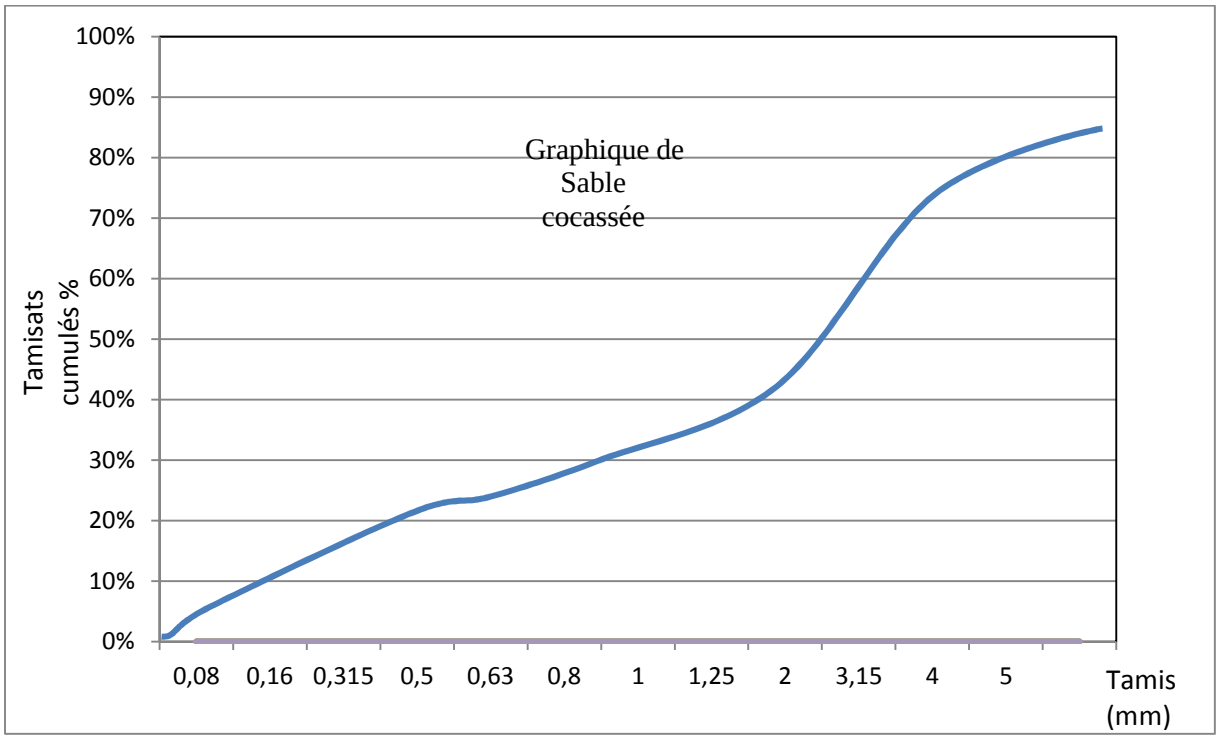


Figure3.5 : *courbe granulométrique de sable concassés*

SABLE N°2

Sable corrigée (sable de dune de carrière HASSIBAHBAH +sable de concassage) :

3.1.2.6. Analyse granulométrique de sable de HASSIBAHBAH :



Figure 3.6 : *sable de hassi bahbah*

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulés(%)
5.00	**0**	**0**	**100**
4.00	**0**	**0**	**100**
3.15	**0**	**0**	**100**
2.00	**0**	**0**	**100**
1.25	**0.1**	**0.01**	**99.99**
1.00	**0.2**	**0.02**	**99.98**
0.80	**0.7**	**0.07**	**99.93**
0.63	**2**	**0.2**	**99.8**
0.50	**9.1**	**0.91**	**99.09**

0.315	**83.3**	**8.33**	**91.67**
0.16	**855.1**	**85.51**	**14.49**
0.08	**996.7**	**99.67**	**0.33**
fond	**997**	**99.7**	**0.30**

Tableau3.6: *Résultat d'analyse granulométrique de sablede hassi bahbah.*

MF=0.95

Classification : MF ≤ 1.8

Observation : le module de finesse est inférieure à 1.8 donc le sable est très fins il faut corriger par un autre sable qui a une granulométrie grande.

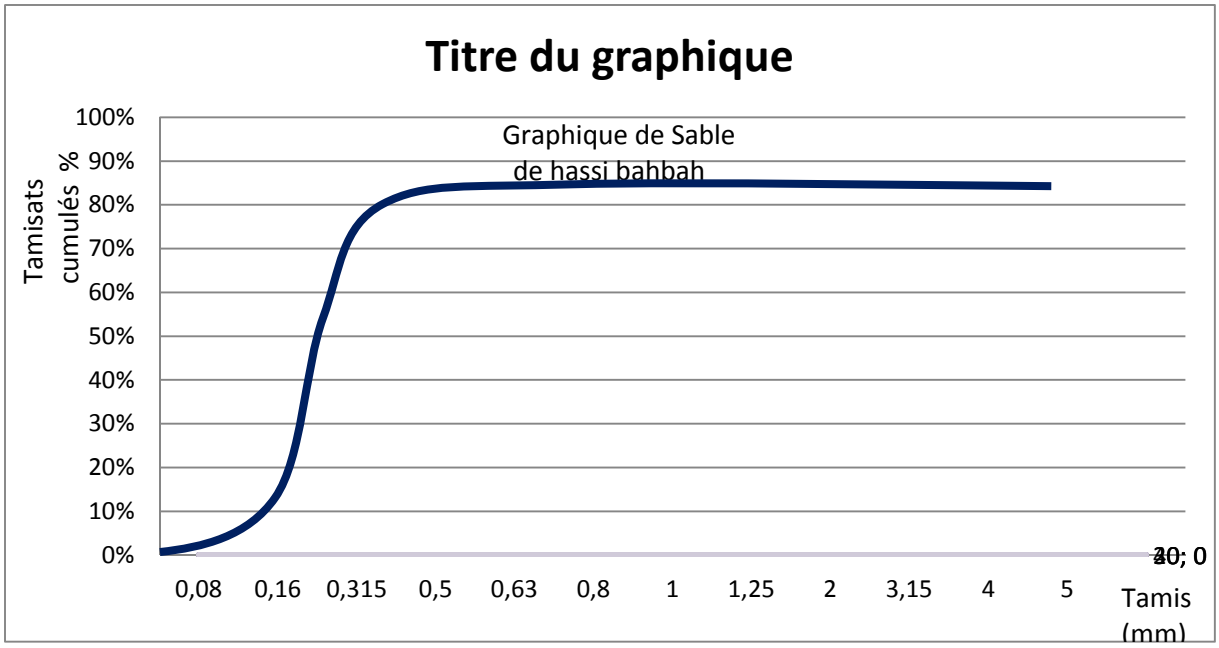


Figure3.7 : *courbe granulométrique de sable de hassi bahbah.*

3.2.1. Règle de Correction des sables :

On pourra utiliser la règle d'Abrams : supposons par exemple que l'on dispose d'un able fin S1 de module de finesse MF1 et que l'on désire y ajouter un sable concassé S2 de module de finesse trop fort MF2 afin d'obtenir un mélange dont le module de finesse serait MF ; les proportions des deux sables composant devront être les suivantes :

❖ **Pourcentage du sable de dune : S1**

$$S1 = \frac{mf - mf1}{mf1 - mf2} \approx 35\%$$

❖ **pourcentage du sable concassé 0/3 : S2**

$$S2 = \frac{mf - mf2}{mf1 - mf2} \approx 65\%$$

Avec :

S1 : le sable fin de hassi –bahbah.

S2 : le sable concassé (0/5).

Mf = 2.5 (la norme de module de finesse pour un sable corrigée).

Mf 1: le module de finesse de sable fin.

Mf 2: le module de finesse de sable concassé.

Donc on a:

S1= (3.2-2.5)/ (3.2-0.95).

Proportion du sable : S1≈ 0.35= 35%

S2 = (0.95-2.5)/ (0.95-3.2).

Proportion du sable : S2 ≈0.65= 65%

Alors on va faire le mélange d'après ces pourcentages :

35% de sable fin+ 65% de sable concassé= 100 % de sable corrigée.



Fig. 3.8 : *Vue du sable de dune*



Fig. 3.9.: *Vue du sable concassé*

Tableau 3.7: *comparaison entre les caractéristiques du sable de dune et celles du sable concassé*

caractéristique	Sable de dune	Sable concassé
Granulométrie	**Serrée**	**Etalée**
Module de finesse	**Inférieure aux normes**	**Dans les normes**
Propreté	**Très bonne**	**Hors normes**
Analyse Chimique	**Bonne**	**/**

Après le tableau c'est dessus en remarque que chaque sable possède des propriétés complètes la propriété de l'autre sable donc en va essai de lui malaxer pour obtenu un sable préférentiel.



Figure 3.10: *sable corrigé après le malaxage des deux sables (sable de dune+sable concassées)*

3.2.2. Module de finesse de sable corrigé :

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

MF=2.5

Tableau 3.8 : *Analyse granulométrique de sable de dune+sable concassées (0/3)*

Tamis (mm)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulés(%)
5.00	5.6	0.56	99.44
4.00	30.5	3.05	96.95
3.15	89.4	8.94	91.06
2.00	231.9	23.19	76.881
1.25	337.5	33.75	66.25
1.00	376.4	37.64	62.36
0.80	418.6	41.82	58.14
0.63	441.8	44.18	55.82
0.50	472	47.2	52.8
0.315	550	55	45
0.16	886.9	88.68	11.32
0.08	990.4	99.04	0.96
Fond	992.1	99.71	0.79

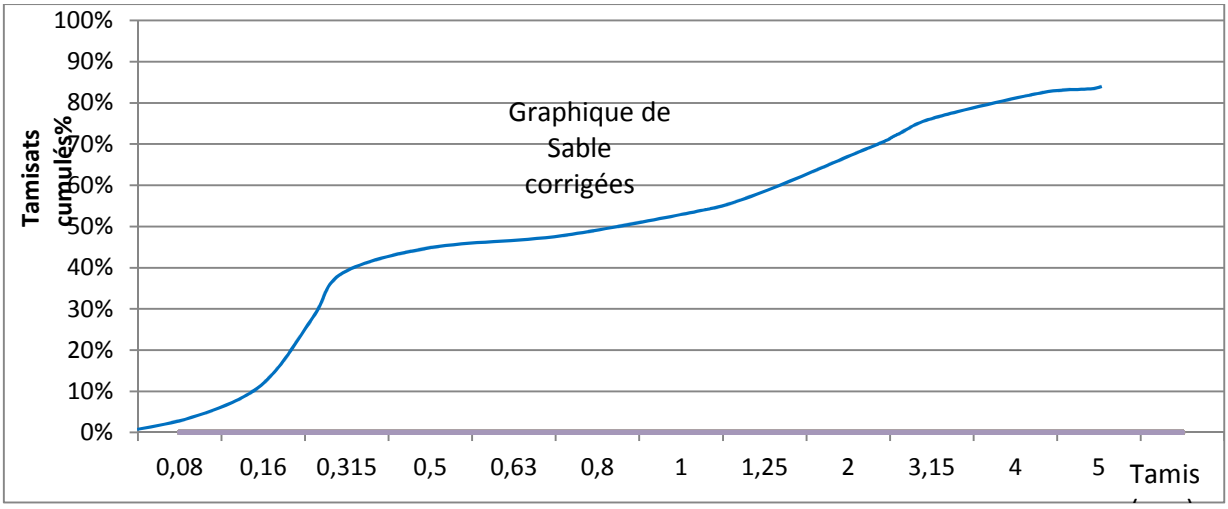


Figure 3.11: *courbes granulométrique du sable corrigé.*

Classification:

Le module de finesse est engendré entre **2.2 ≤ MF ≤ 2.8** ⟹ un sable préférentiel,

Remarque : ce sable est Utilisé pour le revêtement

3.2.3. L'équivalant de sable :

a)Principe :

Le procédé de l'essai consiste à verser une quantité de sable de 120g dans une éprouvette normalisée comprend la solution lavant jusqu'au premier trait. Après l'agitation pendant 30s, on va remplir l'éprouvette jusqu'au deuxième trait par la solution lavant. Le mélange repose 20 min et alors on peut mesurer les hauteurs **h1, h2 et h'2**.

b) Propreté des sables :

La propreté est une notion qualitative importante d'appréciation d'un sable. En effet, les sables contiennent en général des fines à différentes teneurs. Pour des teneurs élevées, il y a lieu de déterminer effectivement si ces fines sont nocives ou non. En fait, on cherche à éliminer les argiles que l'on ne peut pas extraire facilement du sable et dont les dimensions inférieures à deux microns englobent beaucoup de minéraux inertes.

L'essai d'équivalent de sable et effectué sur la fraction d'un sable passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les sédiments sableux et les éléments fins qui floculent (floculat). Les mesures peuvent s'effectuer à vue **(ESV)** ou à l'aide d'un piston **(ESP).** L'équivalent de sable ES est donné par la formule suivante :

$$ES = (h2/h1)*100$$

- Equivalent de sable : **ES**

.- Hauteur **h1** : sable propre + éléments fines.

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

Selon que la hauteur **h2** est mesurée visuellement ou à l'aide du piston en détermine un : **ESV** (visuel) ou **ESP** (par piston)



Fig.3.12 : *Essai d'équivalent de sable.*

Le procédé de l'essai est conforme à la norme **NA455** et les résultants obtenus sont présentés dans le tableau suivant

L'équivalent de sable de Hassi Bahbah

Tableau 3.9: *Résultat de l'équivalent de sable de hassi bahbah*

Sable de (HASSI BAHBAH)	Eprouvette°1	Eprouvette°2
Hauteur de la colonne(H1)	9.65	10
Hauteur de sable à vue(H2)	7.7	7.75
Hauteur au piston (H2')	7.00	6.99
ESV%	77.38	77.50
ESP %	70.35	70.00
ESV Moyenne	77.40	
ES moyenne au piston	70.17	
Classification	$75 \leq ESV < 85$ et $70 \leq ES < 80$	

D'après l'essai de l'équivalent de sable sur les deux sables concassée et de hassi- bahbah en résume les résultats dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.10: *Résultats de l'équivalent de sable pour les deux sables de concassage (0/3) et de hassi- bahah*

	ES(%)	
	ESV	**ESP**
Sable concassée (0/3)	**78.77**	**72.88**
Sable hassi bahbah	**77.40**	**70.17**

Tableau 3.11. *Nature et qualité du 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 de hassi –bahbah est propre.**
- **le sable de concassage est un sable propre (le sable est lavé avant le calcule de l'équivalent de sable)**

3.2.4. 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.

3.2.5. Briques

Des briques haute densités b(HD) en terre cuite à perforations verticales et de dimensions de $210 \times 105 \times 55$ mm^3 ont été utilisées dans cette étude.



Figure 3.13 : briques perforé

3.2.6. Mortiers utilisés :

Afin d'étudier l'influence du type de mortier sur le comportement des éléments en maçonnerie, on a utilisé deux types de mortiers :

a) Le mortier dit bâtard est constitué de chaux, de ciment, de sable et d'eau.

b) Le mortier de ciment est constitué de ciment, de sable et d'eau.

3.2.7. ESSAIS DE CARACTERISATION DES MORTIERS

3.2.7.1. Essai sur mortiers à l'état frais

b) Le **maniabilimètre du LCPC**:

Le maniabilimètre est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibrateur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.

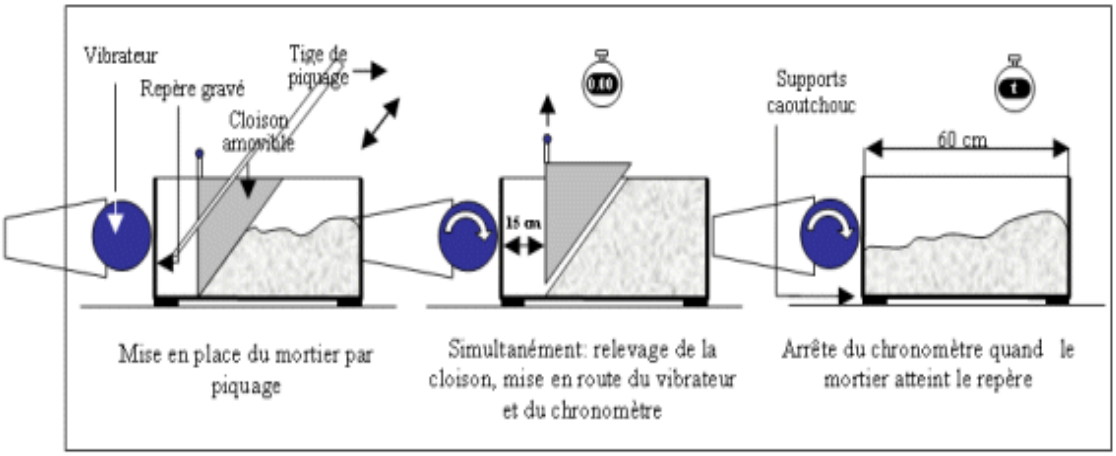




Fig. 3.14 : *Principe de fonctionnement du maniabilimètre B*du LCPC

Tableau 3. 12:*le temps d'écoulement par un mortier*

Le type de mortier	Mortier bâtard	Mortier de ciment
Le temps mis pour le mortier	t=28.12 s	t=20.6 s
Classe de consistance	Plastique	Plastique

Tableau3.13 : *Appréciation de la consistance en fonction du temps d'écoulement*

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

3.2.7.2. Le temps de prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même

appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à au fond et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à au niveau supérieur.

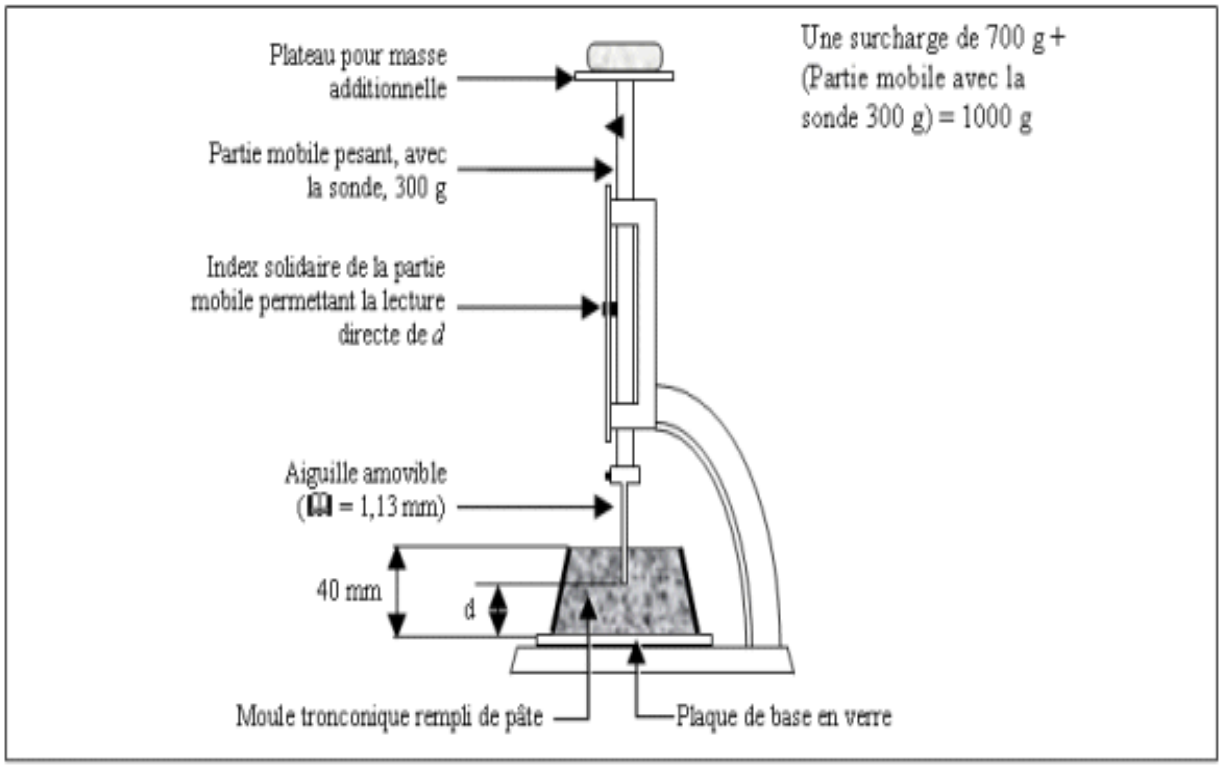




Fig. 3.15 : *Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge*

Les résultats de temps de prise sont résumés dans le tableau ci-dessous :

On remarque que le temps de prise pour le mortier bâtard est largement grand par rapport au mortier de ciment

Tableau 3.14: *le temps de prise pour le mortier bâtard et pour le mortier de ciment*

prise	Début de prise	Fin de prise
Mortier de ciment	**2h**	**4h**
Mortier bâtard	**T > 6h**	**lente**

.3.3. Essai mécaniques sur mortiers à l'état durci

Le mortier est caractérisé mécaniquement par la résistance en traction et en compression et par l'énergie de rupture. Les essais de caractérisation sont effectués à des âges de 7 et 28 jours sur des éprouvettes qui étaient complètement immergées dans un bac d'eau à une humidité relative HR égal à 100% et une température T= 20°C.

3.3.1. Résistance à la traction (norme EN1015-11)

La résistance à la traction est mesurée par l'essai de flexion trois points. Cet essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm.

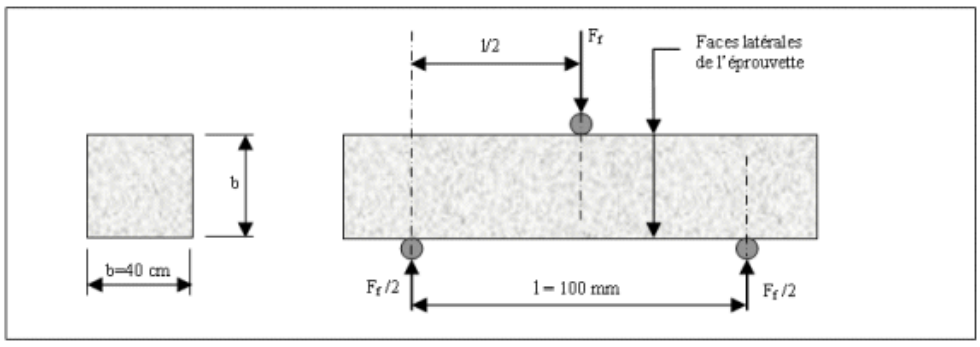


Figure. 3.16 : *Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion*

$$f_{fl} = 3Fl\,/2.b.h^2$$

3.3.2. Résistance à la Compression (norme EN1015-11)

Les essais de la résistance à la compression ont été effectués sur les demi-prismes qu'on obtient après l'essai de flexion. Ainsi, la compression est effectuée sur des prismes de 8x4x4cm.

$$\sigma = P / S$$

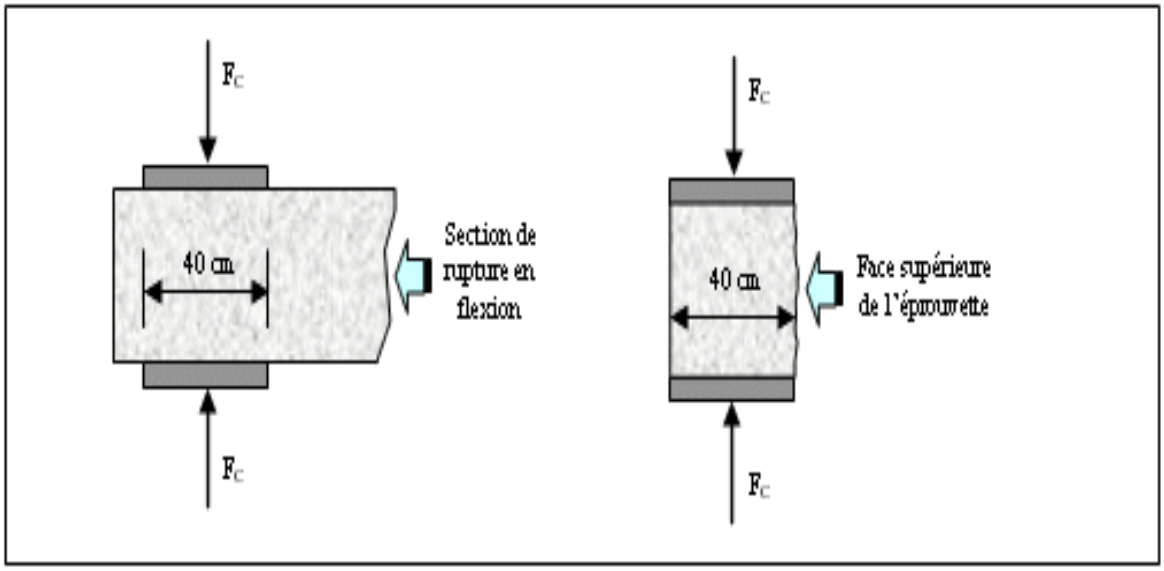


Figure. 3.17: *Dispositif de rupture en compression*

Tableau3.15: *Résistance en compression et celle de traction par flexion sur des éprouvettes (4x4x16) réalisé en mortier bâtard.*

Spécimens 7j	Flexion R_f (MPa)	Compression σ_C (MPa)	Spécimens 28j	Flexion R_f (MPa)	Compression σ_C (MPa)
1	1.13	6.55	1	1.86	8.55
2	1.18	6.21	2	1.89	7.95
3	1.15	6.54	3	1.95	7.98
4	1.14	6.65	4	1.97	7.87
5	1.19	6.55	5	1.88	7.66
6	1.17	6.63	6	1.94	8.66
Moyenne	1.16	6.52	Moyenne	1.915	8.11

Tableau 3.16: *Résistance en compression et celle de traction par flexion sur des éprouvettes (4x4x16) réalisé en mortier de ciment.*

Spécimens 7j	Flexion R_f (Mpa)	Compression σ_C(Mpa)	Spécimens 28j	Flexion R_f (Mpa)	Compression σ_C(Mpa)
1	2.03	13.48	1	5.04	24.56
2	2.60	13.91	2	4.79	20.53
3	3.78	14.97	3	3.78	24.20
4	2.14	14.50	4	3.85	22.37
5	2.28	14.60	5	4.21	23.55
6	2.97	14.76	6	3.95	23.69
Moyenne	2.63	14.37	Moyenne	4.27	23.15

3.4. ESSAIS DE COMPRESSION SUR DES BRIQUES :

La résistance à la compression sur des briques creuses. Dans cet essai, les briques sont placées au centre d'une presse hydraulique de capacité de 2MN. L'essai est réalisé suivant la norme **NF EN 772-1** [69].

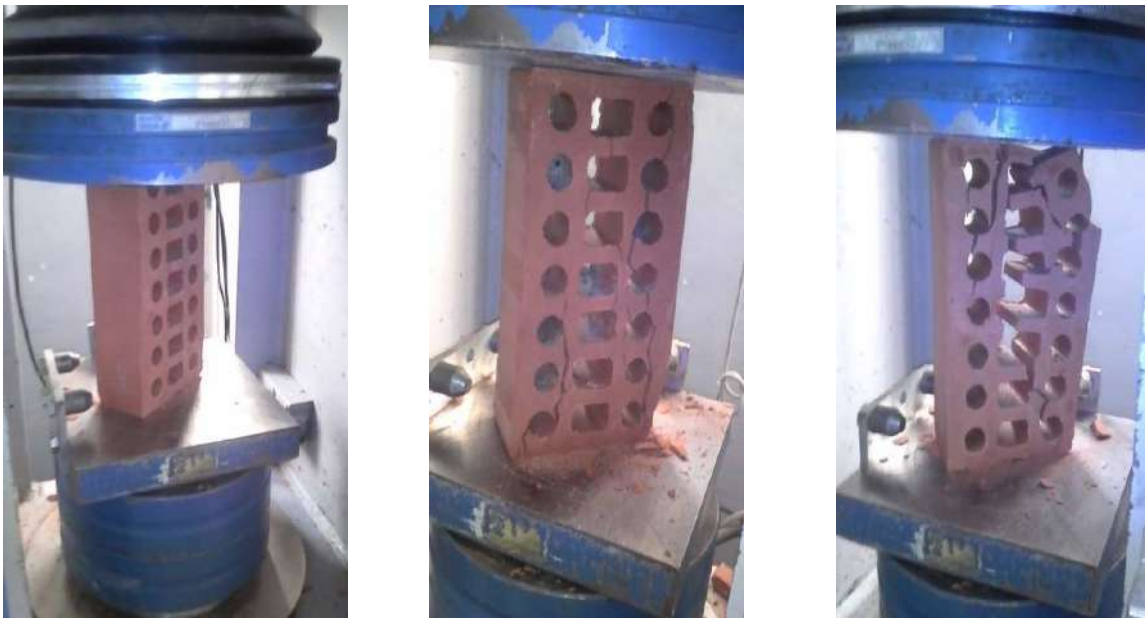


Figure 3.18 :*Essais de compression sur briques*

Tableau 3.17:*résultats de résistance de compression sur briques.*

Nombre d'essais	$N_{rupture}$ (KN)	Résistance à la compression F_C(MPa)
1	30.1	**8.1**
2	32.9	**8.86**
3	35.3	**9.51**
Moyen	30.77	**8.82**

La résistance à la compression est déduite

$$F_C = \frac{N_{rupture}}{S_{nominal}}$$

$N_{rupture}$:Contrainte de rupture par compression

Tableau 3.18 : *résultats de de résistance de compression sur briques*



Nombre d'essais	$N_{rupture}$ (KN)	F_C(Mpa)
1	**90.1**	**19.1**
2	**83.3**	**17.68**
3	**89**	**18.89**
Moyen	**87.47**	**18.55**

3.5. LES MURS :

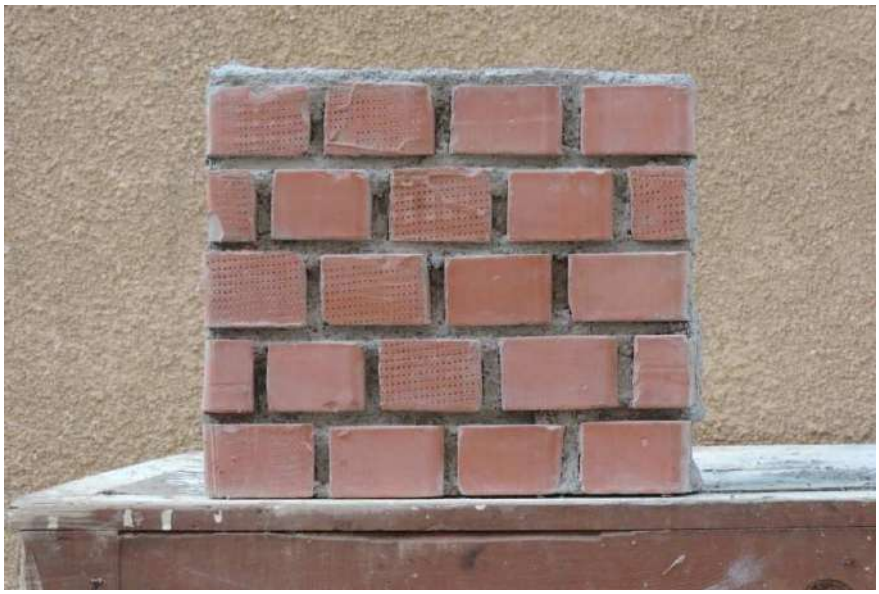


Figure 3.19 : *mur témoin*



Figure 3.20 : *les murs sur lequelle se fait les essais sont presque de meme dimension et caractère*

3.5.1. Différent étapes de construction et de renforcement des murs :

3.5.1.1 Méthodologie de la confection des murets

Un dispositif a été réalisé pour la confection des murets, afin de respecter la planéité.

Les opérations suivies sont :

1. Mouiller préalablement les briques ou blocs, pour éviter l'absorption de l'eau du mortier pendant la réalisation de la maçonnerie,

2. Placer le fil avant la disposition des blocs en maçonnerie.

3. Etaler le mortier suivant l'épaisseur et ce à l'aide de différents gabarits fixant ainsi les dimensions du joint,

4. Vérifier la planéité du mur avec la règle en bois et le fil à plomb.

5. Après 24 h, effectuer un surfaçage (avec un mortier en ciment 1 : 3)

6. Les murets sont ensuite transportés et stockés,

7. L'écrasement est effectué, après 28 jours de cure, aux conditions du laboratoire.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3.21 :*les différents etapes de construction et de renforcement des murs*

3.5.1.2.Les types de matériaux utilisées pour le renforcement des murs :



grillage en plastique de maille(2.4x2.6)cm ^{2}



grillage acier de maille (1.8x0.9)cm ^{2}



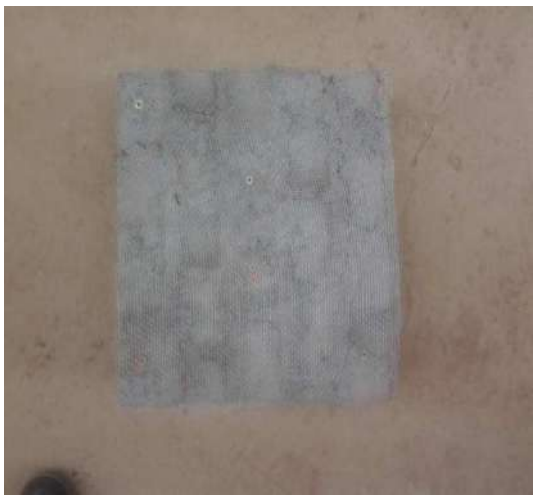
grillage acier de maille(0.8x0.5)cm ^{2}



grillage acier de maille (3.5x2.00)cm ^{2}



grillage acier de maille(0.4x0.4)cm ^{2}



grillage acier de maille (0.5x0.5)cm ^{2}

Figure 3.22 :*renforcement des murs par différent type de grillage*

3.5.2. ESSAIS MECANIQUES sur muret :

Les essais mécaniques pour la caractérisation d'une maçonnerie peuvent être effectués de plusieurs façons : Essai de compression centrée, Essai de cisaillement direct et indirecte et essai d'adhérence par dynamomètre de traction

3 .5.2.1. Essai de compression diagonale (ASTM E-519)

3.5.2.1.1. DISPOSITIF D'ESSAI

Une presse pilotée par ordinateur a été utilisée pour la réalisation des essais, comprenant :

- Un portique de 1.5 m x 1.7 m.
- Un portique de 0.8 m x 1.0 m.
- Un vérin de 100 KN de capacité.
- Un système hydraulique.
- Un système d'acquisition des données.
- Barres de transmissions des**.** charges
- Capteur de déplacement.
- Un ordinateur Pentium II.
- Un logiciel pour le traitement des données.

3.5.2.1.2. Principe de l'essai

Les efforts sont transmis par des barres de transmissions des plaquettes d'appui assurent une meilleure distribution des efforts sans aucune excentricité.

La mesure de pression, faite à l'aide d'un capteur de pression, permet de déterminer la charge appliquée par le vérin.

La mesure des déplacements est effectuée à l'aide d'un capteur de déplacement qui est installé au-dessus du muret.

L'ensemble des données, forces et déplacements, sont enregistrés automatiquement par un système d'acquisition des données. Ces derniers nous ont permis de tracer les courbes

contraintes-déformations que nous présentons en annexe.

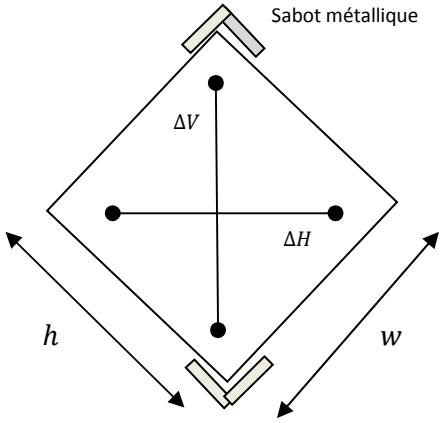
La sollicitation est exercée suivant des paliers de pression d'une valeur moyenne de 1 KN/s jusqu'à la rupture.



Figure 3.23 : *Essai de compression diagonale*

L'essai de compression diagonale est utilisé pour simuler les efforts de traction et de compression qui apparaissent dans les deux diagonales d'une maçonnerie.

Un muret carré de dimension 30x30cm^2 est placé diagonalement à l'aide de deux sabots métalliques entre les deux plateaux d'une presse de 100KN. Une charge verticale est appliquée de manière progressive sur le sabot supérieur afin de simuler un cisaillement indirect du mur.



La contrainte de cisaillement déduite par la relation suivante :

$$\boldsymbol{\tau = \frac{P}{A_{inc}} cos45°}$$

Avec P_{max} est la charge appliquée par et A_{inc} est l'aire inclinée de

$$\boldsymbol{A_{inc}} = \frac{(\boldsymbol{w}+\boldsymbol{h})}{\boldsymbol{2}} \times \boldsymbol{t} \times \boldsymbol{n}$$

$\boldsymbol{w}$ **:** Largeur du muret

$\boldsymbol{h}$ **:** Hauteur du muret

$\boldsymbol{t}$: Epaisseur du muret

$\boldsymbol{n}$: un coefficient suivant la nature de brique

D'après la courbe contrainte de cisaillement-déformation, le module de cisaillement G_{mac} de la maçonnerie est déduit à partir du rapport de la contrainte de cisaillement $\tau_{1/3}$ de la charge maximale et de la déformation de cisaillement correspondante :

$$\boldsymbol{G_{mac}} = \frac{\boldsymbol{\tau_{1/3}}}{\boldsymbol{\gamma}}$$

Où la déformation en cisaillement γ est en fonction du raccourcissement vertical (ΔV), de l'allongement horizontal (ΔH) et de la longueur de jauge$\boldsymbol{g}$.

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\boldsymbol{\Delta V} + \boldsymbol{\Delta H}}{\boldsymbol{g}}$$

3.6. INTERPRITATION DES RESULTATS :

3.6.1. Mur témoin

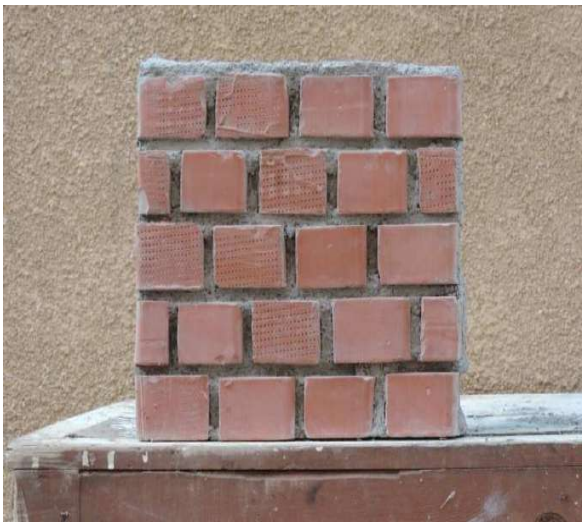


Figure 3.24 *: murs témoin*



Figure 3.25 : *murs témoin après l'essai de Compression diagonal*

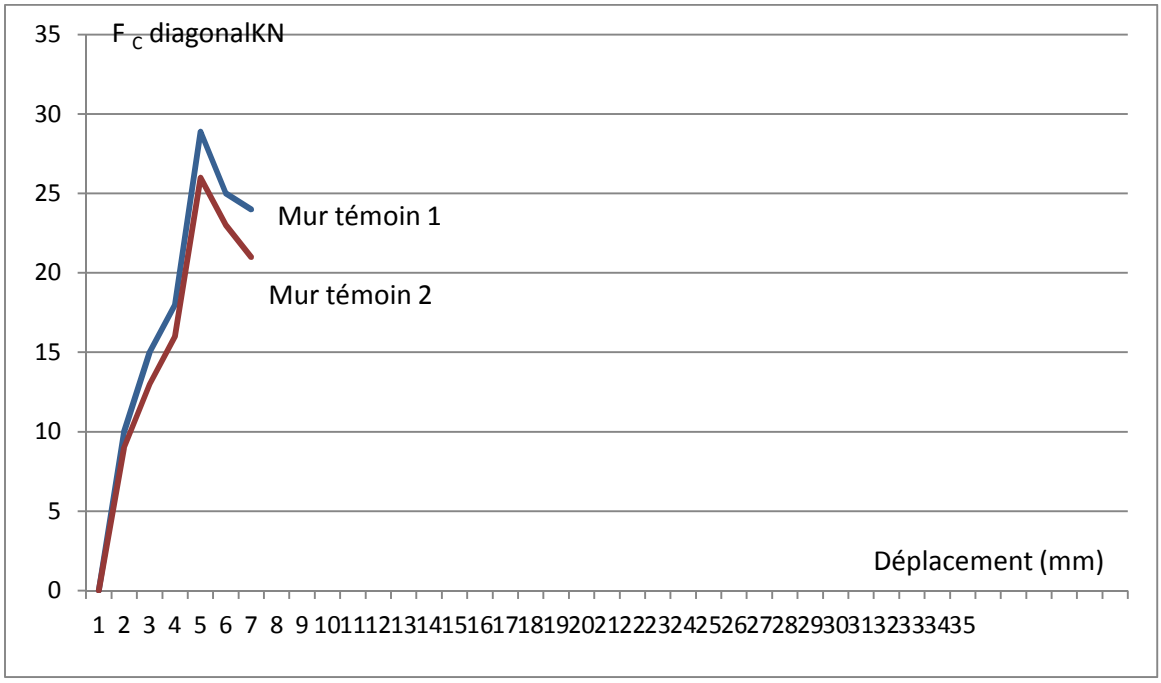


Figure 3.26 *: Graphique de force de compression diagonale des murs témoin (murs non renforcés) en fonction de déplacement.*

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.19 : *la valeur maximum de force de compression diagonal et le déplacement pour les murs témoins.*

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs témoin1	**28.84**	**7**
Murs témoin2	**28.90**	**7.3**

3.7. Renforcement par grillage

3.7.1. Renforcement par grillage en plastique : dans cette étude nous avons utilisé un seule type de grillage en plastique de dimension des mailles **(2.4x2.6) cm** ^{2}, ce type de grillage est disponible est n'est pas relativement pas cher et facile a mettre en œuvre.



Figure 3.27 : *mur renforcer par grillage en plastique de dimension des maille (2.4X2.6) cm²*



Figure 3.28 : *murs après l'essai de compression diagonal*

D'après l'essai de compression diagonal sur le mur renforcé par grillage en plastique l'ordinateur donne le graphe de la force de compression diagonale en fonction de déplacement.

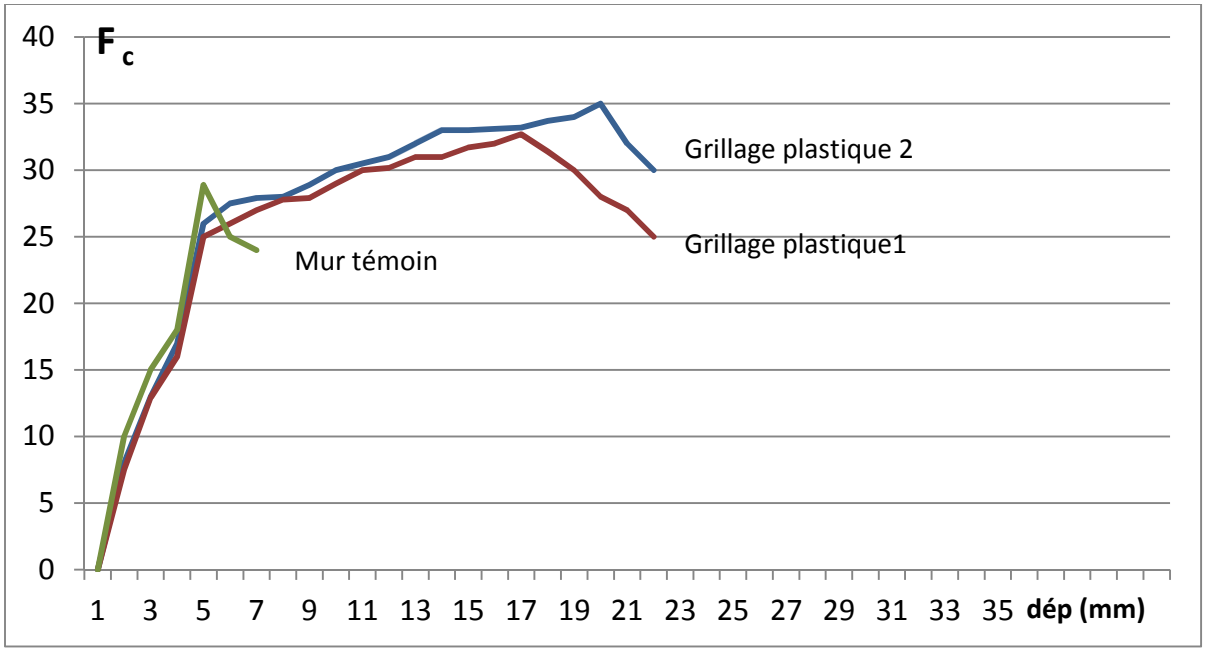


Figure 3.29 : *graphique de contrainte de compression diagonal et de déplacement des grillages en Plastique avec des trous de forme rectangulaire de dimension (2.4x2.6) cm²*

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.20 : *la valeur maximum de force de compression diagonale et le déplacement pour les murs renforcer par grillages en plastique avec des trous de forme rectangulaire de dimension (2.4x2.6) cm* ^{2}

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs(GP1)	**35.49**	**22.59**
Murs (GP2)	**37.5**	**22.1**

3.7.2. Renforcement par grillages en acier avec des mailles de forme losange de dimension des trous (0.8x0.5) cm^2



Figure 3.30*: renforcement par grillage en Acier de maille de forme losange (0.8x0.5) cm*^{2}



Figure 3.31 : *murs après l'essai de compression diagonal*

D'après l'essai de compression diagonal sur le mur renforcé par grillage en acier de maille (0.8x0.5) cm ^{2} l'ordinateur donne le graphe de la force de compression diagonale en fonction de déplacement.

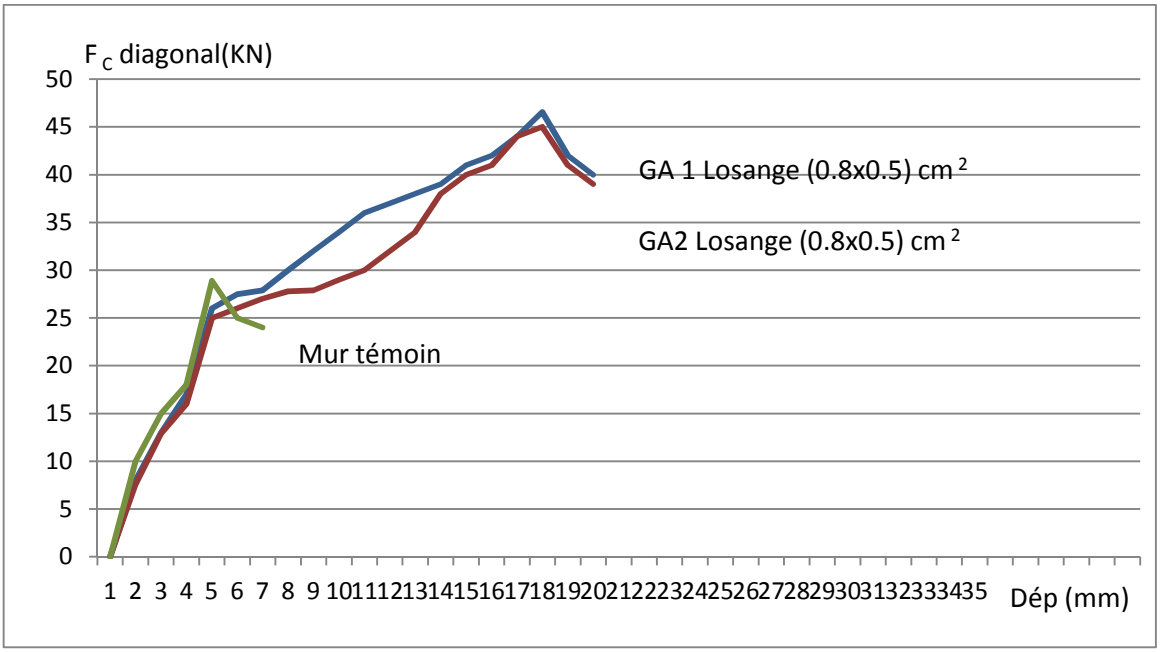


Figure 3.32 : *graphique de force de compression diagonal de grillage en acier de maille losange de dimension (0.8x0.5) mm* ^{2}

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.21 : *la valeur maximum de force de compression diagonale et le déplacement pour les murs renforcer par grillages en acier avec des maille de forme losange de dimension des trous (0.8x0.5) cm*^{2}

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs(GA1)	**46.54**	**19.7**
Murs (GA2)	**42**	**18**

3.7.3. Murs renforcé par grillages en Acier de maille (3.50x2.00) cm2



Figure 3.33 *: renforcement par grillage en Acier de maille (3.50x2.00) cm2*



Figure 3.34 : *murs après l'essai de compression diagonal*

D'après l'essai de compression diagonal sur les murs renforcé par grillage en acier de maille (3.5x2.00) cm ^{2} l'ordinateur donne le graphe de la force de compression diagonale en fonction de déplacement.

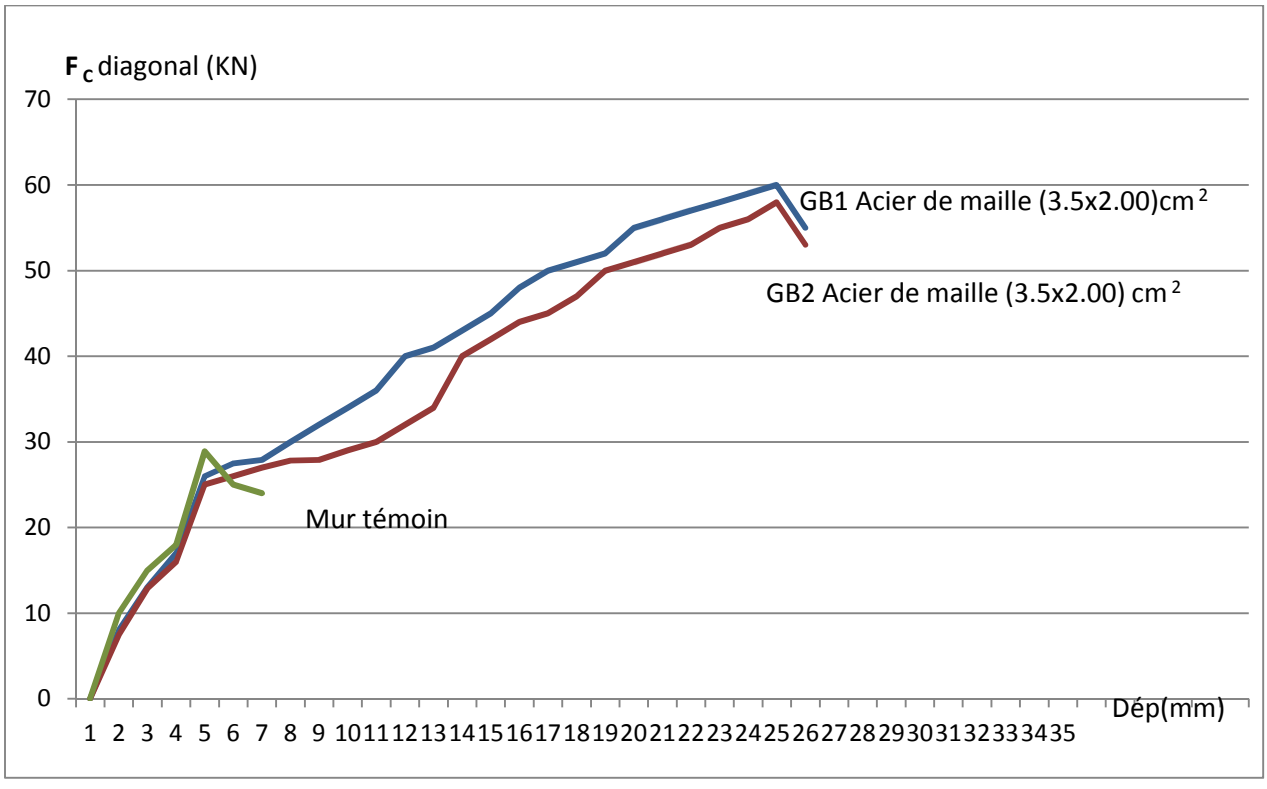


Figure 3.35 : *graphique de force de compression diagonal en fonction de déplacement des grillages en acier avec des trous de maille (3.50x2.00) cm2*

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.22: *les valeurs maximum des forces de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de maille (3.50x2.00) cm2*

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs(GB1)	**60**	**26**
Murs (GB2)	**58**	**26.1**

3.7.4. Renforcement par grillages en Acier de maille carré (0.5x0.5) cm^2 :



Figure 3.36 *: renforcement par grillage en Acier de maille carré (0.5*0.5) cm^2*



Figure 3.37 : *murs après l'essai de compression diagonal*

D'après l'essai de compression diagonal sur les murs renforcé par grillage en acier de maille (0.5x0.5) cm^2 l'ordinateur donne le graphe de la force de compression diagonale en fonction de déplacement.

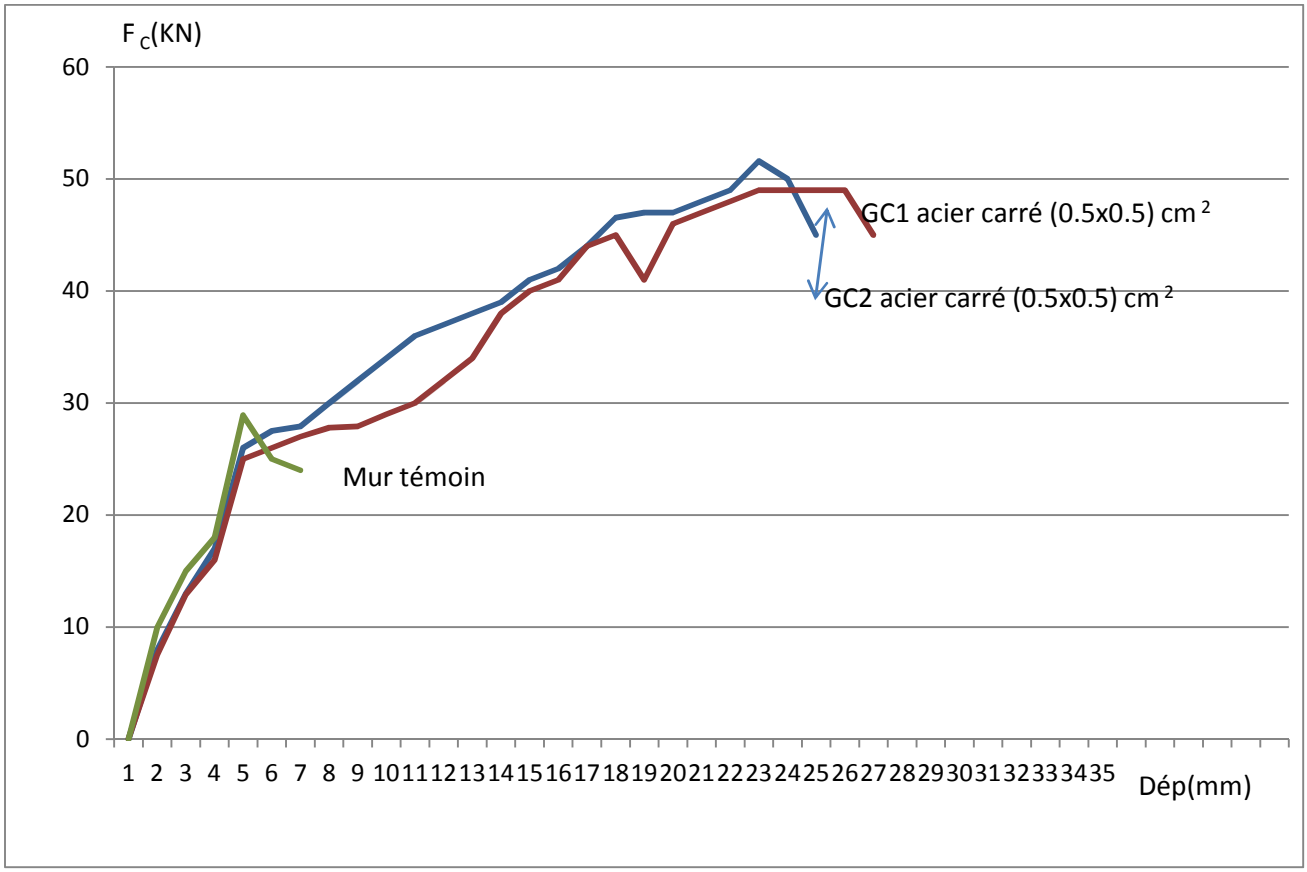


Figure 3.38: *graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de trous carré de dimension (0.5x0.5) cm* ^{2}

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.23: *les valeurs maximum de contrainte de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de maille carré (0.5x0.5) cm* ^{2}

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs(GC1)	**51.24**	**23**
Murs (GC2)	**50.19**	**20**

3.7.5. Renforcent me par grillages en Acier de forme losange de maille (1.8x0.9) cm2



Figure 3.39 *: renforcement par grillage en Acier de maille de forme losange (1.8x0.9) cm²*

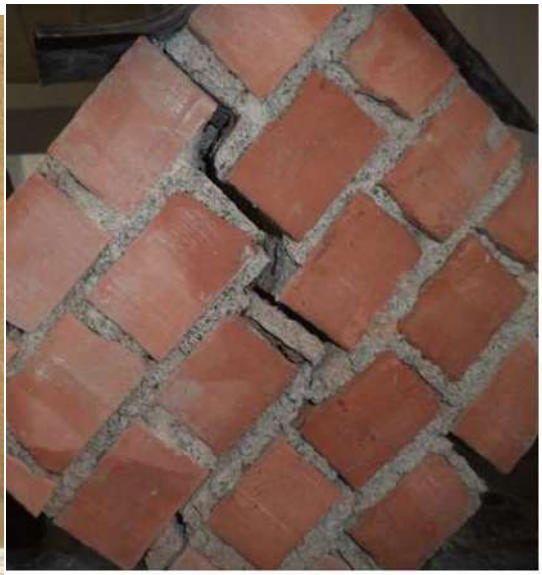


Figure 3.40 : *murs après l'essai de compression diagonal*

D'après l'essai de compression diagonal sur les murs renforcé par grillage en acier de maille (1.8x0.9) cm ^{2} l'ordinateur donne le graphe de la force de compression diagonale en fonction de déplacement

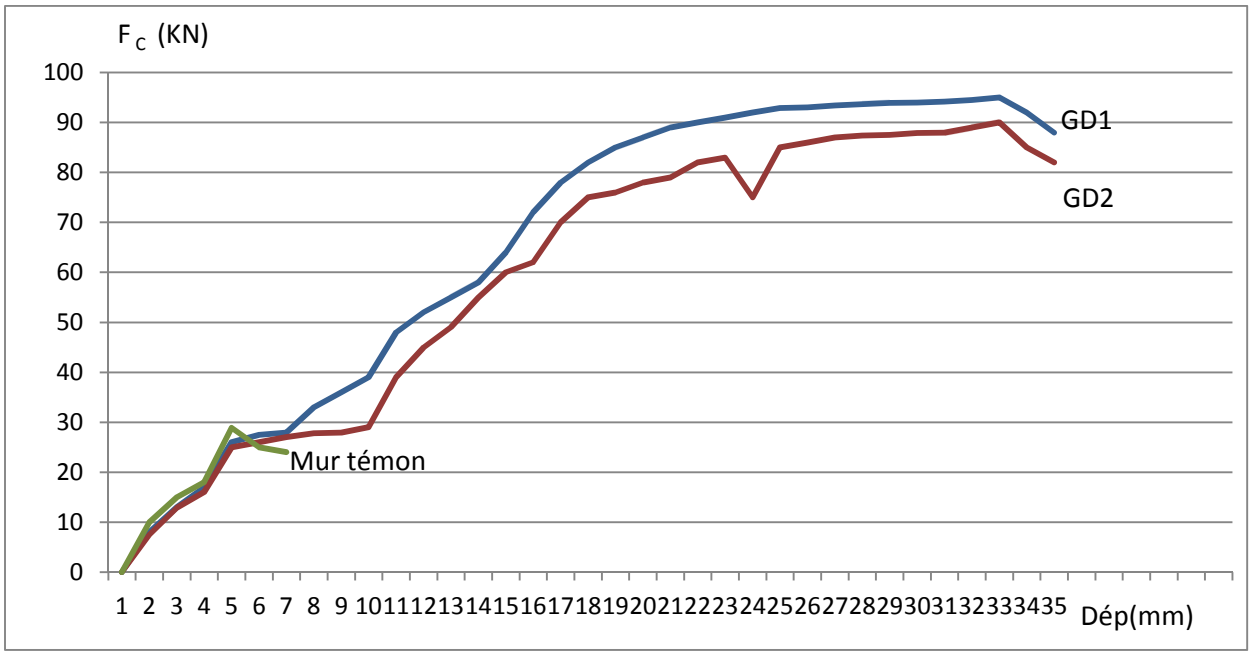


Figure 3.41 : *graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de trous losange de dimension (1.8x0.9) cm ^{2}*

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.24 : *les valeurs maximum de contrainte de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de forme losange de maille (1.8x0.9) cm2*

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs(GD1)	**95**	**33.13**
Murs (GD2)	**88**	**32**

3.7.6. Renforcement par grillages en Acier de forme carré de maille (0.4x0.4) cm2



Figure 3.42 *: renforcement par grillage en Acier de maille (0.4*0.4) cm^2*



Figure 3.43 : *murs après l'essai de compression diagonal*

D'après l'essai de compression diagonal sur les murs renforcé par grillage en acier de maille (0.4x0.4) cm ^{2} l'ordinateur donne le graphe de la force de compression diagonale en fonction de déplacement.

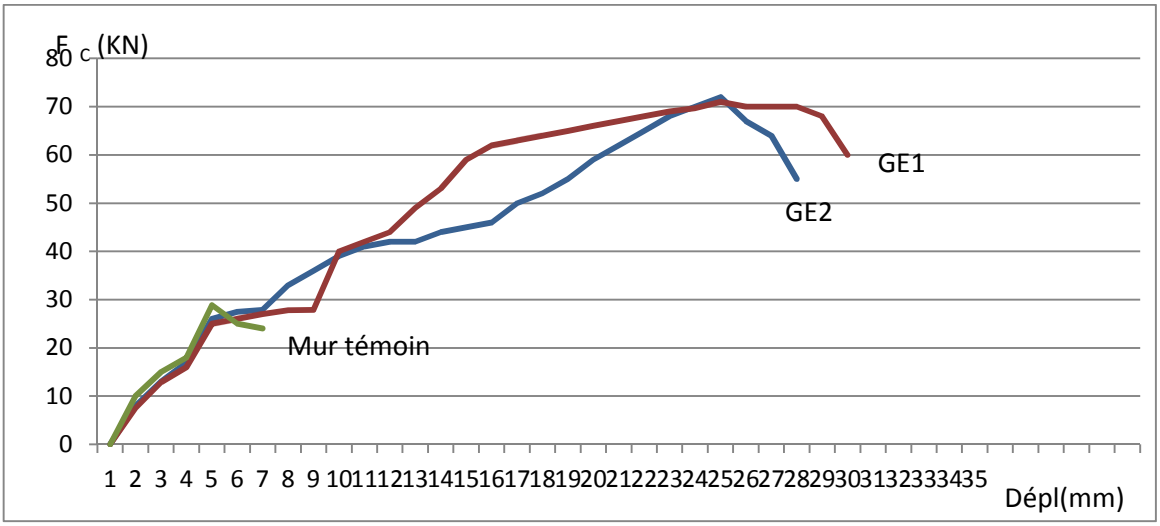


Figure 3.44 : *graphique de contrainte de compression diagonal de grillage en acier de trous carré de dimension (0.4x0.4) cm* ^{2}

En résume les résultats de la charge et le déplacement maximum avant la rupture dans le tableau ci-dessous :

Tableau .3.25 : *les valeurs maximum des forces de compression diagonale et les déplacements pour les murs renforcé par grillages en Acier de forme carré de maille (0.4x0.4) cm2*

	Force de compression diagonale (KN)	**Déplacement (mm)**
Murs(GE1)	**72**	**25**
Murs (GE2)	**71**	**24.9**

3.8. Résumé de résultats dans des graphes :

On résume tous les résultats dans deux graphe seulement une représente graphique des forces maximum et l'autre représente le déplacement maximum.

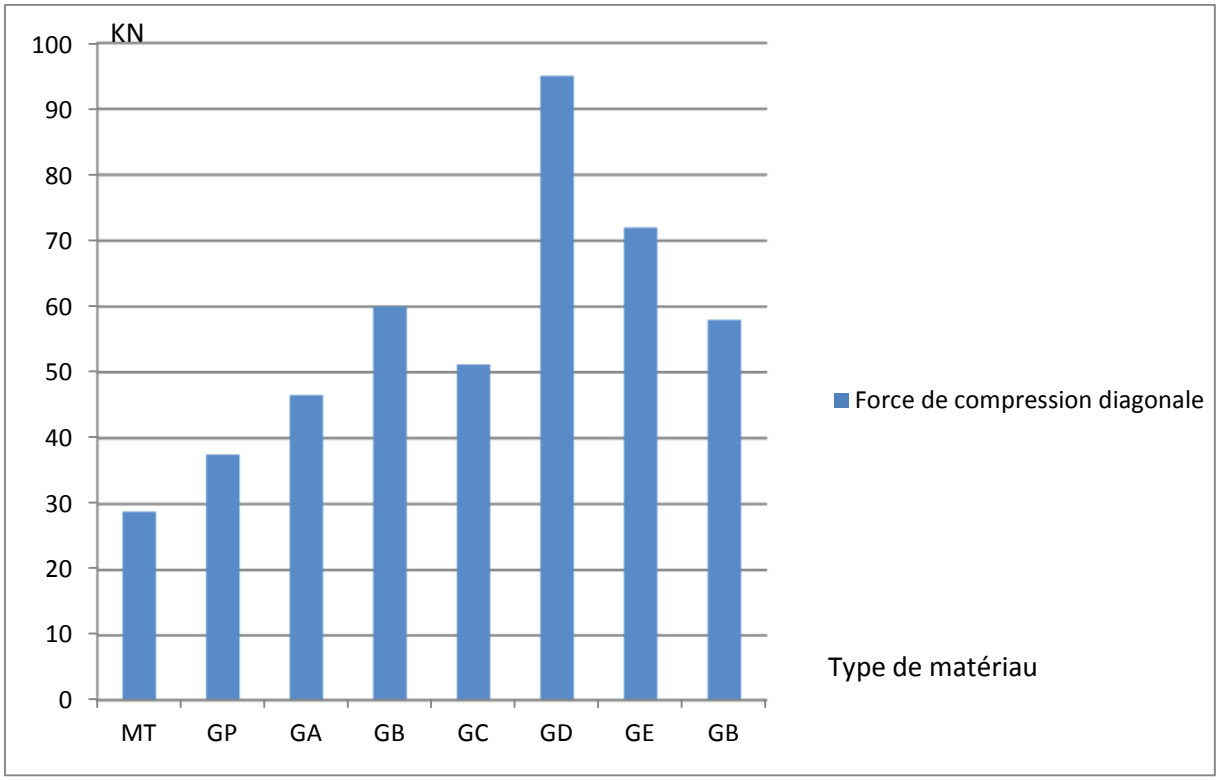


Figure 3.45 : *Graphique représentent les résultats des forces de compression diagonale des murs en fonction de type de grillage de renforcement*

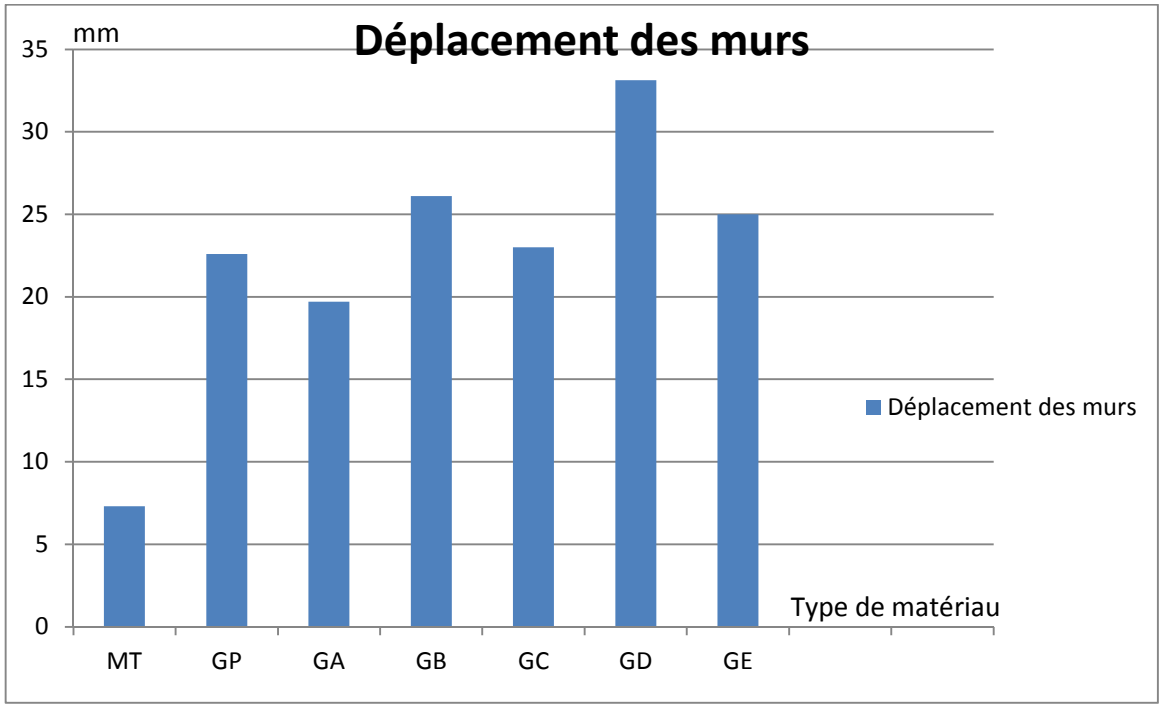


Figure 3.46 : *Graphique représentent les résultats des déplacements des murs en fonction des types de grillage de renforcement.*

Conclusion Générale

Conclusion Général.

Les études expérimentales visent à tracer l'effet de l'application de techniques de renforcement en variant les matériaux de renfort et leur taille.

D'après l'étude expérimentale sur les différents murs utilisés dans cette thèse on peut constater que le renforcement des murs par grillage présente une solution idéale pour éviter l'endommagement des murs en cas d'un tremblement de terre. Nous avons remarqué que le renforcement des murs par grillage augmente d'une manière significative leur résistance, qui peut atteindre jusqu'à trois fois plus par rapport aux murs non renforcé. Aussi le grillage en acier de forme losange de maille (1.8x0.9) cm^2 est le plus résistant et offre un déplacement remarquable par rapport aux autres grillages.

Certains résultats ont montré que le renfort améliore de manière significative la stabilité latérale des parois, et augmente la résistance au cisaillement, et le déplacement maximum avant la rupture, et le déplacement et la charge à la première fissure.

-on peut constater que d'après cette étude les résultats suivants :

-le renforcement par grillage en plastique augment la résistance de mur de 30% et offre un déplacement de 3 fois plus par rapport au mur témoin.

-le renforcement par grillage en acier de forme losange de maille de dimension (0.8x0.5) augment la résistance de mur de 61% et offre un déplacement de 2.6 fois plus par rapport au mur témoin.

-le renforcement par grillage en acier de maille de dimension (3.5x2.00) cm^2 augment la résistance de mur de plus de 100% et offre un déplacement de 3.5 fois plus par rapport au mur témoin.

-le renforcement par grillage en acier de maille carré de dimension (0.5x0.5) cm^2 augment la résistance de mur de plus de 77% et offre un déplacement de 3.15 fois plus par rapport au mur témoin.

-le renforcement par grillage en acier de maille losange de dimension (1.8x0.9) cm^2 augment la résistance de mur de plus de 300% et offre un déplacement de 4.5 fois plus par rapport au mur témoin.

-le renforcement par grillage en acier de maille carré de dimension (0.4x0.4) cm^2 augment la résistance de mur de plus de 149 % et offre un déplacement de 3.42 fois plus par rapport au mur témoin.

Recommandation

- il faut bien protéger le grillage en acier pour éviter le problème de corrosion de l'acier par ce que le volume de l'acier augment en cas de corrosion qui produit après un risque d'éclatement de mortier.

- il faut bien protéger le grillage en plastique pour éviter le problème de fusion de plastique en cas de l'incendier.

Le renforcement par grillage a été toujours suivi par une application de mortier sur la surface de muret. Cela protège l'acier au climat extérieur l'eau et l'air en cas de l'utilisation d'un grillage en acier et évite la fusion au feu en cas de grillage en plastique.

Référence Bibliographie

[1] www.maçonnerier.com.

[2] johnson *Gulf Publishing Company*, Propriétés mécaniques de la briques in axiale compression. *Designing, engineering and constructing with masonry pro- ducts, eds. F.H. Johnson, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, USA* (1969),

[3] travaux de HUREZ influence de L'épaisseur horizontal.

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

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

[6]. Zucchini A., Lourenço P.B., Mechanics of masonry in compression: Results from a homogenisation approach, *Computers and Structures* 85 p.193–204, 2007.

[7]. Binda L., Fontana A., Frigerio G., Mechanical behavior of brick masonries derived from unit and mortar characteristics, *Proc. 8th Int. Brick and Block Masonry Conf., Ed. J.W. de Courcy, Elsevier Applied Science*, London, 205- 216, 1988.

[8]. Fishburn C.C., Effect of Mortar Properties on Strength of Masonry, *National Bureau of Standards Monograph 36*, Washington, 1961.

[9]. RILEM 1994, technical recommandations for the testing and use of constructions materials. LUMBI- Compressive strength of small walls and prisms.

[10]. RILEM TC 76-LUM. Diagonal tensile strength of small walls specimens. RILEM Publications SARL; 1994.

[11]. Petersen R.B., In-plane shear behaviour of unreinforced masonry panels strengthened with fibre reinforced polymer strips. *PhD. Theses. The University of Newcastle*, 2009.

[12]. Hoffmann G., Schubert P., Compressive strength of masonry parallel to the bed joints, *Proc. 10th Int. Brick and Block Masonry Conf., Ed. N.G. Shrive and A. Huizer, Calgary, Alberta,* 1453-1462, 1994.

[13]. Giaquinta C., Analisi Sperimentale sotto Carichi Ciclici di Pannelli Murari Rinforzati in CFRP. *Universita degli Studi di Catania. PhD Theses,* 2005.

[14]. Luccioni B., Rougier V.C., In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composite materials. *Construction and Building Materials,* 25 p.1772– 1788, 2011.

[15]. Masonry mortar, *Portland cement association, PCA,* R&D Serial No. 2226, 2004.

[16]. ASTM C 1072-2000, Standard Test Method for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength, ASTM International.

[17]. Standards Australia. AS 3700-2001 Masonry Structures: Appendix C - Method of test for compressive strength. ASI, Sydney, Australia, 2001b.

[18]. Standards Australia. AS 3700-2001 Masonry Structures: Appendix D - Method of test for flexural strength. ASI, Sydney, Australia, 2001c.

[19]. Zimmermann T., Strauss A., Bergmeister K., Structural behavior of low- and normalstrength interface mortar of masonry, *Materials and Structures,* p.45:829–839, 2012.

[20]. Masia M.J., Han Y., Player C.J., Correa M.R.S., Page A.W., Torsion shear test for mortar joints in masonry: Preliminary experimental results. *In Tenth North American Masonry Conference*, St Louis, Missouri, U.S.A., June 2007.

[21]. Corradi M., Borri A., Vignoli A., Experimental study on the determination of strength of masonry walls, *Construction and Building Materials* p.17 325–337, 2003.

[22]. Mojsilovic N., Simundic G., Page A., Masonry wallettes with damp-proof course membrane subjected to cyclic shear: An experimental study. *Construction and Building Materials,* 24 p.2135–2144, 2010.

[23]. ASTM E 519-2002, Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, ASTM International.

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

[25]. De Lorenzis L., Teng J.G., Near-surface mounted FRP reinforcement: An emergingtechnique for strengthening structures Composites: Part B 38 (2007) 119–143

[26]. Tumialan J.G., Associate Member, ASCE, Galati N., Nanni A., Fellow, ASCE. Field assessment of URM walls strengthened with FRP laminates. *Center on Repair of Buildings and Bridges (RB2C) at the University of Missouri – Rolla*. Rolla.MO.

[27]. CNR-DT 200/2004 (2004), National Research Council (CNR), Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction, Rome, Italy, National Research Council, 144 p. July, 13, 2004.

[28]. Heath D.J., Gad E.F., Wilson J.L., Experimental testing techniques to determine unreinforced masonry material properties, The university of Melbourne. N° 6

[29]. Pawan A., Vaibhav S., Durgesh C.R., Effect of in-plane damage on out-of-plane strength of unreinforced masonry walls, Engineering Structures, 57 p.1–11, 2013.

[30]. Hansen L.Z., Unreinforced Masonry Walls Transversely and Axially Loaded, Ph.D. Thesis, the Technical University of Denmark, 2004.

[31] Willis C.R., Seracino R., Griffith M.C., Out-of-plane strength of brick masonry retrofitted with horizontal NSM CFRP strips, Engineering Structures 32 p.547-555, 2010.

[32]. Illston J.M., Domone P.L.J., Construction Materials, Their Nature and Behaviour, Chapter 32. Structural Behaviour And Movement Of Masonry, Taylor and Francis Group, 2001.

[33]Al-Salloum, Y.A., Almusallam, T.H. (2005).

[34] Sofronie R.A., *Seismic Strengthening of Masonry in Buildings and Cultural Heritage.* Proc. Of the 6th National Congress on Seismol. a. Seismic Engng. SÍSMICA 2004, Portugal, 2004. Vol. **1**, 81-100.

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

[36]ElGawady, M.A., Lestuzzi, P., Badoux, M. (2007*). Static cyclic response of masonry walls retrofitted with fiber-reinforced polymers.* Journal of Composites for Construction 2007;11(1):50–61. ASCE.

[37]Santa Maria, H., Alcaino, P., Luders, C. (2006). *Experimental response of masonry walls externally reinforced with carbon fiber fabrics.* In: Proceedings of the 8th US National

[38] Chuang, S., Zhuge, Y., Wong, T., Peters, L. (2003). *Seismic retrofitting of unreinforced masonry walls by FRP strips.* In: Pacific conference on earthquake engineering; 2003.

[39]Faella, C., Martinelli, E., Nigro, E., Paciello S. (2010). *Shear capacity of masonry walls externally strengthened by a cement-based composite material: An experimental campaign.* Construction and Building Materials 2010;24:84–93. Elsevier.

[40] Eshani, M.R., Saadatmanesh, H., Al-Saidy, A. (1997). *Shear behavior of URM retrofitted*

ANNEXE TECHNIQUE

(Certificat d'accréditation N° 1-2-014)

L'organisme Algérien d'Accréditation atteste que :

Le centre national d'études et de recherche intégrée du bâtiment (CNERIB)
Sis cité nouvelle El Mokrani Souidania Alger

Satisfait aux exigences de la norme ISO/CEI 17025 version 2005 et aux règles d'application d'ALGERAC pour les activités d'essais sur matériaux « bétons»

SITE CONCERNE	**Département technique essais et mesures du CNERIB** **cité nouvelle el mokrani souidania Alger** **Contact : Monsieur AFRA Hamid** **Tél : + 213 21 38 03 68** **Fax : +213 21 38 04 31** **E-mail : mail@cnerib.edu.dz** **Site web : www.cnerib.edu.dz**

Unité technique concernée : Service essais et mesures

- ***Béton : résistance à la compression des éprouvettes***

Cette accréditation est la preuve de la compétence technique du laboratoire pour les activités susmentionnés et du bon fonctionnement dans ce laboratoire d'un système de management de la qualité adapté (cf. communiqué conjoint ISO/ILAC/IAF de janvier 2009)

Date de prise d'effet le 31 mars 2015
Date de fin de validité le 31 mars 2018

Le responsable d'accréditation
Laboratoire d'essai

Sonia BOUSTIL

(Détail de la portée voir page suivante)

Cette annexe peut faire l'objet de modification, dans ce cas la nouvelle annexe annule et remplace toute annexe précédemment émise

Organisme Algérien d'Accréditation- 17, rue Abdelkader Rakouba-Hussein Dey-Alger
Tél : +213 21 77 49 40/ +213 555 029 579 fax : +213 21 77 42 60 /www.algerac.dz