REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux en génie civil

Thème

Corrélation entre les performances des prismes et des murets en maçonnerie sous chargement axial

---

Présenté par :

OULDKHIAR AYOUB

MAZIGHI ABDELMONEIM

Proposé et Dirigé par :

Dr: HARNOUN.H

Promotion Juin 2023

Remerciement :

Nous tenons tout d’abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame HARNOUN Houria pour l’encadrement de ce mémoire et pour ça aide, ça patience et la confiance qu’elle nous a accordée.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l’université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

A mon père, A ma mère,

A mes frères, A mes sœurs,

A mon très cher binôme MONAIM

A mon très cher frère ISLAM ET HAKIM ET YASMIN ET RIMA

A tous ceux qui me sont chers...

AYOUB

Dédicace

A mon père, A ma mère,

A mes frères, A mes sœurs,

A mon très cher binôme AYOUB

A mon très cher frère ISLAM ET HAKIM ET YASMIN ET RIMA

A tous ceux qui me sont chers...

MONAIM

Résumé

Les caractéristiques de résistance et de déformation de la maçonnerie sous compression uni axiale sont étudiées sur des décennies à l'aide de murets et de prismes et ; cependant, la corrélation entre ces deux méthodes d'essai standard n'est pas établie. Les normes de conception de la maçonnerie fournissent des expressions et des données tabulées pour déterminer les caractéristiques de compression à partir des tests de prisme ou de murets à échelle réduite. Par la suite, les chercheurs ont comparé les normes et tiré des conclusions sur leurs conservatismes respectifs ou autres, sans tenir compte de la manière dont ces dispositions ont été élaborées pour ces normes de conception. Par conséquent, une tentative a été faite pour corréler le comportement du prisme de maçonnerie solide au comportement de compression de murets. Six prismes et nef murets ont été construits et testés en utilisant trois types différents de brique et un seul type de mortier. Les résultats des tests ont révélé que les tests de prisme fournissent systématiquement une résistance à la compression supérieure à celle des murets correspondants. Une relation linéaire entre les résistances à la compression des prismes et des murets s'est avérée appropriée. Pour les caractéristiques de résistance à la compression de la maçonnerie, un modèle analytique simplifié est proposé pour corréler les données d'essai des prismes et des murets.

Mots clés : modélisation, numérique, mur, maçonnerie, incliné par 45°, abaques, combinée, renforcé, lamelle, CFRP.

Abstract

The resistance and deformation characteristics of masonry under uniaxial compression are studied over decades using low walls and prisms and; however, the correlation between these two standard test methods is not established. Masonry design standards provide expressions and tabulated data for determining compressive characteristics from prism or scale wall testing. Subsequently, researchers compared the standards and drew conclusions about their respective or other conservatisms, regardless of how these provisions were developed for these design standards. Therefore, an attempt was made to correlate the prism behavior of solid masonry to the compression behavior of low walls. Six prisms and nave walls were built and tested using three different types of brick and a single type of mortar. The test results revealed that the prism tests consistently provide higher compressive strength than the corresponding curbs. A linear relationship between the compressive strengths of prisms and walls was found to be appropriate. For the compressive strength characteristics of masonry, a simplified analytical model is proposed to correlate test data for prisms and low walls.

Key words: modeling, numerical, wall, masonry, inclined by 45 °, Abaqus, combined, reinforced, slats, CFRP.

ملخص

تمت دراسة خصائص المقاومة والتشوه للبناء تحت ضغط أحادي المحور على مدى عقود باستخدام الجدران والمنشورات المنخفضة و ؛ ومع ذلك ، لم يتم إثبات العلاقة بين هاتين الطريقتين القياسيتين للاختبار. توفر معايير تصميم البناء تعبيرات وبيانات مجدولة لتحديد خصائص الضغط من المنشور أو اختبار جدار المقياس. بعد ذلك ، قارن الباحثون المعايير واستخلصوا استنتاجات حول المحافظات الخاصة بكل منها أو غيرها ، بغض النظر عن كيفية تطوير هذه الأحكام لمعايير التصميم هذه. لذلك ، جرت محاولة لربط سلوك المنشور للبناء الصلب بسلوك الضغط للجدران المنخفضة. تم بناء واختبار ستة مناشير وجدران صحن باستخدام ثلاثة أنواع مختلفة من الطوب ونوع واحد من الملاط. أظهرت نتائج الاختبار أن اختبارات المنشور توفر باستمرار مقاومة ضغط أعلى من الحدود المقابلة. تم العثور على علاقة خطية بين القوة الانضغاطية للمنشورات والجدران لتكون مناسبة. بالنسبة لخصائص مقاومة الانضغاط للبناء ، تم اقتراح نموذج تحليلي مبسط لربط بيانات الاختبار للمنشورات والجدران المنخفضة.

الكلمات المفتاحية : النمذجة ، العددية ، الجدار ، البناء ، مائل بنسبة 45° ، الأباكوس ، مشتركة ، معززة ، رقاقة ، CFRP.

SOMMAIRE

Remercîments

Dédicace

Résumés

Sommaire

Introduction générale

CHAPITRE01 REVUE DE LITTERATURE

I.1 INTRODUCTION……4

I .2 Maçonnerie..... 4

I.2.1 Définition..... 4

I.2.2. Domaine d'application..... 4

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

I.3.1 Introduction :..... 5

I.3.2 Maçonnerie de pierre naturelles :..... 5

I.3.3 Maçonnerie en agglomérés de béton..... 8

I.3.4.1 Maçonnerie en briques d'argile cuite :..... 12

I.3.4.2 Briques pleines……...12

I.3.4.3 Briques perforées……...13

I.3.4.5 Briques creuses……..13

I.4 Les mortiers :..... 14

1.4.1 Les types de mortier :..... 14

1.4.1.1 Les mortiers de ciment :..... 14

1.4.1.2 Les mortiers de chaux :..... 15

1.4.1.3. Les mortiers de liaisonnement :..... 15

1.4.1.3. Les classes de mortier……...16

1.4.1.4. Épaisseur des joints de mortier…….16

1.5. DEFAUTS DANS LA MAÇONNERIE : 17

1.5. PATHOLOGIES DE LA MAÇONNERIE : 18

2. COMPORTEMENT MECANIQUE DES STRUCTURES EN MACONNERIE : 19

2.1 MODE DE RUPTURE DE LA MAÇONNERIE……19

2.2.1 Rupture par glissement…….20

2.2.2 Rupture par basculement……..20

2.2.3 Rupture par compression du coin…….20

2.2.4 Rupture par cisaillement……..20

2.3 COMPORTEMENT DES MURS SOUMIS AUX CHARGES HORIZONTALES ET SOUS DES CHARGES LATERALES MONOTONES 21

2.4 COMPORTEMENT DES MURS VIS-A-VIS DE LA CHARGE CONCENTREE 21

2.5 COMPORTEMENT AU CISAILLEMENT DES MURS EN MAÇONNERIE..... 22

2.6 COMPORTEMENT EN TRACTION DES MURS EN MAÇONNERIE 23

2.7 COMPORTEMENTS EN FLEXION DES MURS EN MACONNERIE 23

2.7.1 Flexion uni-axiale…….25

2.7.2 Flexion biaxiale……27

2.8 COMPORTEMENT DE LA MAÇONNERIE EN COMPRESSION..... 27

2.8.1. Compression uni axiale……...28

2.8.2 Compression biaxiale……...32

2.9 RESISTANCE AU CISAILLEMENT EN FONCTION DE LA CHARGE VERTICALE (COMPRESSION)..... 33

2.10 ESSAI DE RESISTANCE A LA FLEXION SUIVANT L'EUROCODE6 ET DTR C2.45..... 34

2.10.1. Essai de résistance à la flexion……..34

2.10.2 Résistance caractéristique à la flexion fxk…….35

CONCLUSION…….37

CHAPITRE02 PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

2.1INTRODUCTION : ...……39

2.2 MATÉRIAUX UTILISES : 39

2.2.1 Provenance des matériaux : 39

2.2.2 Caractéristiques des matériaux : 39

2.2.2.1 Les briques : 39

2.2.2.2. Mortiers : 41

1. Résistance à la flexion……....43
2. Résistance à la compression……44

2.3 PROGRAMME DES ESSAIS SUR LES MURETS..... 45

FABRICATION DES SPÉCIMENS ET CONFECTION DES MURETS : 45

2.3.1 Procédure de test : 45

Brique 45

2.3.2 Matériel utilisé : 47

2.3.3 Méthodologie de la confection des murets :..... 48

2.3.5 Cure et stockage des murs : 49

2.5 DISPOSITIF D'ESSAI : 50

2.5.1 Principe de l'essai : 50

2.6 CONCLUSION :..... 52

CHAPITRE03 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION 53

3.3 RESISTANCE DES MURETS TESTES : 53

3.3.1 Resistance des murets sous sollicitations de compression :..... 53

4.3.2 Modes de ruptures :..... 54

Les murets : 55

Les prismes :..... 57

3.3.3 corrélations des murets avec les prismes : 62

3.4 ESSAI DE COMPRESSION 63

La contrainte de compression expérimentale……63

Conclusion :..... 66

CONCLUSION GENERALE…….67

REFFERANCE ……...……....68

ANNEXE……..69

Listes des figures

Chapitre 1 :

Figure 1.1pierre naturelles (BAUD, 1990). 5
Figure 1.2 mur en pierre naturelles (BAUD, 1990). 5
Figure 1.3 maçonnerie en pierre naturelles (BAUD, 1990). 6
Figure 1.4 mur en pierre naturelle (BAUD ,1990). 7
Figure 1.5 bloc plein de béton. 8
Figure 1.6 bloc de béton creux. 9
Figure 1.7 : processus de fabrication des briques en terre cuite creuses (HABER ET SMITH ,1987). 11
Figure 1.8 briques pleines (www.bricoman.fr). 12
Figure 1.9 briques perforées (fr.dreamstime.com). 12
Figure 1.10 Briques creuses (monmacon.pro/construction-de-murs-en-brique). 13
Figure 1.11 constituants d'un mortier (CHERIF ET KARA ,2013). 13
Figure 1.12 Défauts causés par le Mouvement des dalles (www.paysdecernes.org) 16
Figure 1.13 Mouvements de dilatation thermique (www.paysdecernes.org). 16
Figure 1.14 Fissure le long des fenêtres (www.paysdecernes.org). 17
Figure 1.15 types de chargement appliqués sur les murs (MARCEL et coll,2009). 18
Figure 1.16 Mécanismes de rupture de la maçonnerie : (a) fissuration du joint en traction ; (b) glissement le long des joints horizontaux ou verticaux ; (c) fissuration des blocs en traction directe ; (d) fissuration en traction diagonale des blocs ; (e) 19
Figure 1.17 Propagation de la charge concentrée d'un mur (ASTME519-02, 2002). 21
Figure 1.18 Essai de traction (HOUTI ,2002). 22
Figure 1.19 Flexion due aux efforts appliqués au plan perpendiculaire au joint de pose. 23
Figure 1.20 Flexion due aux efforts appliqués au plan parallèle au joint de pose 24
Figure 1.21 Comportement à la flexion des murs en maçonnerie (NF EN 1996-1-1,2006). 25
Figure 1.22 Modes de rupture sous flexion uni-axiale : a) flexion horizontale. b) flexion verticale Zigzag, denté) ; c) flexion verticale (division) (GAZZOLA, 1986). 26
Figure 1.23 Modes de rupture des murs : a) et b) murs supportés sur 4 bords ; c) murs supportés sur 3 bords (DRYSDALE, 1988). 26
Figure 1.24 charge de compression (CHERRABI.A, 1990). 27
Figure 1.25 État de contrainte dans la maçonnerie, sous compression uni axiale. 28

Figure 1.26 Montage des essais en compression uni axiale 29
Figure 1.27 Résultats d'essais en compression uni axiale..... 30
Figure 1.28 Modes de rupture en compression uni axiale. 31
Figure 1.29 Résultats de la campagne expérimentale sur la maçonnerie chargée en compression biaxiale. 32
Figure 1.30 Relation entre la résistance au cisaillement et la contrainte de pré-compression (CHERRABI.A, 1990) 33
Figure 1.31 Test flexion 4 points (Eurocode 6) (EUROCODE6, 1996). 34
Figure 1.32 Définition des résistances caractéristiques à la flexion (MARCEL et coll., 2009). 35

Chapitre 2:

Figure 2.1 Presse universelle (photos prises par les auteurs). 41
Figure 2.2 Moule prismatique et éprouvettes 4x4x16 cm de mortier..... 42
Figure 2.3 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (www.researchgate.net)..... 43
Figure 2.4 L'essai de résistance à la flexion..... 42
Figure 2.5 Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (BUI, 2013). .....
Figure 2.6 L'essai de résistance à la compression..... 43
Figure 2.7 Outils utilisés pour l'auto-construction par les étudiants (photo prise par les auteurs). 46
Figure 2.8 Scie à Béton (photo prise par les auteurs). 48
Figure 2.9 Etalement du mortier (photos prise par les auteurs)..... 48
Figure 2.10 Vérification de la planéité à l'aide du niveau à bulle (photos prise par les auteurs). 49
Figure 2.11 : Cure et stockage des murs (photos prise par les auteurs). 49
Figure 2.12 : L'ensemble du dispositif d'essai (photos prise par les auteurs)..... 51
Figure 2.13 : Muret sous charge de compression (photos prise par les auteurs). 52

Chapitre 3 :

Figure 3.1 rupture muret (MB1E1)..... 54
Figure 3.2 rupture muret (MB1E2)..... 55
Figure 3.3 rupture muret (MB2E1)..... 55
Figure 3.4 rupture muret (MB2E2)..... 55
Figure 3.5 rupture muret (MB3E1)..... 56
Figure 3.6 rupture muret (MB3E2)..... 56
Figure 3.7 rupture prisme (PB1E1). 56
Figure 3.8 rupture prisme (PB1E2). 57
Figure 3.9 rupture prisme (PB2E1). 57
Figure 3.10 rupture prisme (PB2E2). 57
Figure 3.11 rupture prisme (PB3E1). 58
Figure 3..12 rupture prisme (PB3E2). 58
Figure 3.13 graphes mode de rupture murets. 59
Figure 3.14 graphes mode de rupture prismes..... 60
Figure 3.15 Relation entre les contraintes à la compression des prismes et des murets 61

Liste des tableaux

Chapitre 1 :

Tableau 1.1 les déférents types de parpaing 10

Tableau 2.1 Valeurs de fxk1 pour un plan de rupture parallèle aux lits de pose suivant la norme XP P10 202 35

Tableau 1.3 : valeurs de fxk2 pour plan de rupture perpendiculaire aux lits de pose suivant la norme XP P10 202 36

Chapitre 2 :

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques des briques perforee utilisées 39

Tableau 2.2 Résistances à la compression des briques testée 40

Tableau 2.3 la nature du mortier. 40

Tableau 2.4 caractéristique mécanique mortier 44

Tableau 2.5 dimensions des assemblages en maçonnerie . 4**Error! Bookmark not defined.**

Chapitre 3 :

Tableau 3.1 Résultats de résistance à la compression des tests. (Les murets). 52

Tableau 3.2 Résultats de résistance à la compression des tests. (Les prismes). 53

Tableau 3.3 Propriétés de déformation des éprouvettes testées. 61

Tableau 3.4 valeurs de la contrainte de compression……63

Tableau 3.5 Relation entre les contraintes à la compression des prismes et des murets…...65

NOMENCLATURE

$\boldsymbol{EC6}$: L'Eurocode 6

$\boldsymbol{\varphi}$: Masse volumique apparente (kg/m3).

M : Masse des briques (kg)

V : Volume net des briques

Cap : Capillarité des briques

S : Surface horizontale mouillée en cm2 incluant ou non les vides

σb : Résistance à la compression (MPa).

ρs : Masse volumique

$\boldsymbol{Rc}$: Résistance à la compression

$\boldsymbol{fc}$: Force de compression de vérin.

$\boldsymbol{L}$: Longueur du mur

$\boldsymbol{b}$: Largeur du mur

$\boldsymbol{e}$: Epaisseur du mur.

$\boldsymbol{f_b}$**:** Résistance en compression normalisée des éléments de la maçonnerie.

$\boldsymbol{f_k}$: Résistance à la compression caractéristique de la maçonnerie.

MB1E1 : muret de brique 1 épaisseur 1.

MB1E2 : muret de brique 1 épaisseur 2.

MB2E1 : muret de brique 2 épaisseur 1.

MB2E2 : muret de brique 2 épaisseur 2.

MB3E1 : muret de brique 3 épaisseur 1.

MB3E2 : muret de brique 3 épaisseur 2.

PB1E1 : prisme de brique 1 type 1.

PB1E2 : prisme de brique 1 type 2.

PB2E1 : prisme de brique 2 type 1.

PB2E2 : prisme de brique 2 type 2.

PB3E1 : prisme de brique 3 type 1.

PB3E2 : prisme de brique 3 type 2.

INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation de la maçonnerie dans la construction des bâtiments est une pratique généralisée dans de nombreux pays. Les expériences désastreuses des séismes tel que, celui 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 réglementer la construction en maçonnerie, qui est réalisée généralement sans contrôle.

La maçonnerie présente un comportement très complexe, ceci est d'essentiellement à l'hétérogénéité des matériaux et des techniques presque artisanale s'associées à sa production, qui en font un matériau très variable, difficile à normaliser.

A l'état actuel la résistance de la maçonnerie a la compression est estimée sur la base de relations théoriques déduites des relations expérimentales obtenues à partir des essais sur des spécimens à l'échelle réduit.

Rappelons en effet qu'un mur, surtout s'il s'agit d'un mur extérieur, doit en fonction du rôle qu'il assume dans la construction satisfaire à des exigences nombreuses et variées :

►résistance mécanique aux diverses sollicitations qu'il subit dans son plan, principalement verticalement, mais aussi horizontalement (contreventement de la construction) et perpendiculairement à son plan (action du vent, poussée des terres, chocs) ;

► résistance à la pénétration de la pluie ;

►contribution à l'isolation thermique et à l'isolation acoustique des locaux qu'il délimite

Le but de cette étude est concentré sur l'examen expérimental des caractéristiques de résistance et de déformation des prismes et des murets de maçonnerie sous chargement de compression en utilisant les mêmes matériaux. Notre travail a été organisé en trois chapitres :

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

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

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

- Dans Le troisième chapitre, on a rassemblé les résultats expérimentaux, leur analyse et les conclusions concernant l'évaluation de la résistance à la compression du prisme et du murets, les relation contrainte-déformation des spécimens construits avec des éléments de maçonnerie en brique perforée. Ainsi qu’une relation entre les résistances du muret et du prisme est fournie dans ce travaille en vue de convertir la résistance du prisme en une résistance équivalente du muret pour l'incorporer dans la conception de murs structuraux réels.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTÉRATURE

I.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente une revue de littérature sur les travaux antérieurs concernant la caractérisation mécanique de la maçonnerie non armée avec l'emphase sur la maçonnerie de brique. Afin de bien cerner le contexte de la recherche, on aborde également des sujets connexes tels : la maçonnerie et ses composantes, les différents types de maçonnerie, mode de rupture de la maçonnerie ainsi que le comportement des murs en maçonnerie non armée sous chargement différents.

I .2 Maçonnerie

Les éléments de maçonnerie en briques de production locale permettent de réaliser pour la construction de bâtiments civils et industriels une importante solution socioéconomique, environnementale et architecturale. La maçonnerie utilise différents types de composants dans leur fabrication, leur préparation, où leur agencement nécessite une certaine maitrise voire même une science bien étudiée.

I.2.1 Définition

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

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

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

I.2.2. Domaine d'application

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

• La stabilité mécanique sous sollicitations normales.

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

• La satisfaction aux exigences thermiques et acoustiques.

• La tenue au feu de la paroi.

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

Les ouvrages courants de maçonnerie traditionnelle peuvent être classes suivant leur rôle dans l'ouvrage (HOUTI, 2002) :

● Maçonneries porteuses.

● Maçonneries de remplissage.

● Maçonneries de façade non porteuse ou en doublage

● Maçonneries de cloison.

I.3 Les différents types de maçonnerie :

I.3.1 Introduction :

Une variété de matériaux combinés avec du mortier de résistance variable peuvent être utilisés pour la construction de maçonnerie. Certains des matériaux couramment utilisés sont la brique, les pierres ou encore le béton. Toutefois, d'autres types de construction peuvent être utilisés dans la maçonnerie.

● Maçonnerie de pierre naturelle,

● Maçonnerie en agglomérés de béton,

● Maçonnerie en briques de terre cuite,

● Maçonnerie en briques silico-calcaire,

3.1.2 Maçonnerie de pierre naturelles :

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

qualité une production extrêmement faible de déchets sur le chantier du fait de la possible réutilisation des blocs ou moellons sans perte de qualité et de la transformation des déchets de carrière en granulats. N'oublions pas aussi que la ressource en pierre naturelle est encore très importante et que son coût est équivalent aux autres matériaux de construction, à condition de préférer les ressources locales. Sur le plan esthétique, la pierre se défend également : en fonctionde la nature de la roche, il est possible de jouer sur le côté "brut" de la pierre en conservant la trace des coupes de scie ou de travailler des faux joints à la scie pour simuler des dimensions deblocs différentes de ceux réellement posés (voir figure 3.1, 3.2 et 3.3).



Figure 1.1pierre naturelles (BAUD, 1990).



Figure 1.2 mur en pierre naturelles (BAUD, 1990).



Figure 1.3 maçonnerie en pierre naturelles (BAUD, 1990).

► **Moellons :**

Les pierres employées non gélives dénommées moellons, doivent être d'un poids inférieur à 40 kg a fin de permettre leur manipulation par un seul homme. Les moellons peuvent être bruts de forme irrégulière ou taillés selon l'aspect recherché.

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

► **Jointoiement :**

La largeur des joints, variables dans cette maçonnerie, ne doit pas excéder 4cm et les espaces plus larges doivent être remplis par des éclats de pierre. Lorsque les joints restent apparents, ils doivent être réalisés de manière à offrir une résistance minimale à l'ecoulement de l'eau sur le parement. Les murs ainsi construits peuvent être oit laissés bruts, c'est-à-dir que l'appareil reste visible en parement, soit recouverts d'un crépissage (voir figure 3.4).

► **Epaisseur des murts :**

L'épisseur des murs dépend des pierres employées mais ne peut être inferieur à 30 - 40 cm,

Les mellons tailles, grossièrement ou non,permettent des réalisations variées dont les caractéristiques générales d'exécution sont présentés par la figure 3.4.

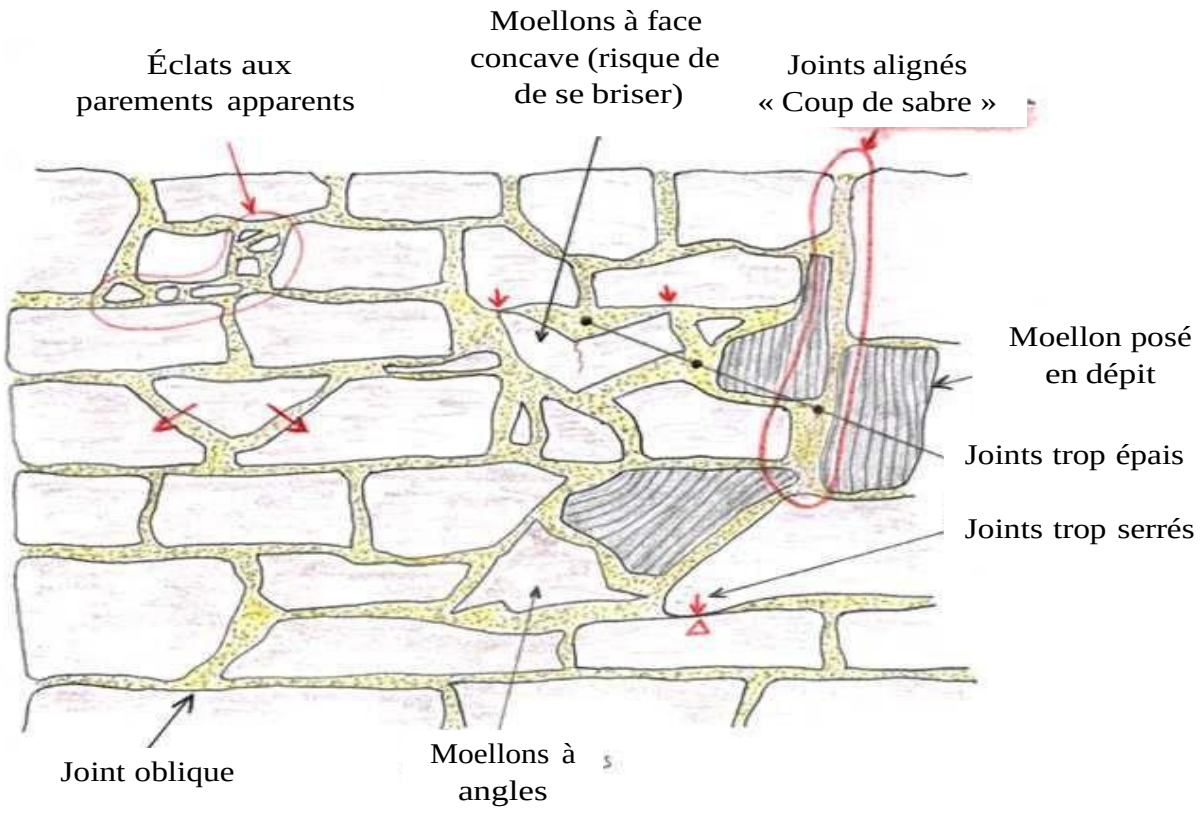


Figure 1.4 mur en pierre naturelle (BAUD ,1990).

3.1.3 Maçonnerie en agglomérés de béton

La maçonnerie agglomérée de béton est une technique de construction courante qui utilise des blocs de béton préfabriqués pour construire des murs et d'autres structures. Ce type de maçonnerie est souvent utilisé dans les projets de construction résidentielle et commerciale en raison de sa durabilité, de sa résistance aux intempéries et de sa facilité d'installation.

Les blocs de béton utilisés dans la maçonnerie agglomérée sont fabriqués à partir de béton coulé dans des moules, puis séchés et durcis. Les blocs sont disponibles dans une variété de

tailles, de formes et de textures pour s'adapter à différents besoins de construction. Certains blocs ont des cavités internes pour aider à l'isolation thermique et acoustique.

La maçonnerie agglomérée de béton est souvent utilisée dans la construction de murs porteurs, de fondations, de murs de soutènement et de murs de clôture. Elle est également utilisée pour construire des murs intérieurs et extérieurs, des cheminées, des barbecues et des revêtements de sol. Les blocs de béton sont faciles à manipuler et à installer, ce qui en fait un choix populaire pour les projets de construction résidentielle et commerciale.

Il existe plusieurs types de blocs de béton utilisés dans la maçonnerie agglomérée de béton. Voici les principaux types :

3.1.3.1 Les blocs pleins :

ce sont des blocs de béton massifs sans cavités internes. Ils sont souvent utilisés pour les murs porteurs, les fondations et les murs de soutènement.



Figure 1.5 bloc plein de béton.

3.1.3.2 Les blocs creux :

ce sont des blocs de béton avec des cavités internes qui peuvent être remplies de mortier ou de béton. Ces blocs offrent une excellente isolation thermique et acoustique et sont souvent utilisés pour les murs intérieurs et extérieurs.



Figure 1.6 bloc de béton creux.

3.1.3.3 Les blocs à nervures :

ce sont des blocs de béton creux avec des nervures internes qui offrent une résistance structurelle supplémentaire. Ils sont souvent utilisés pour les murs de soutènement, les murs porteurs et les fondations.

Tableau 1.1 les déférents types de parpaing.

Types de parpaings	caracteréstiques	Utilisations
Bloc pleins	Bloc de béton massifs sans cavités internes.	Murs porteurs, fondations, murs de soutènement
Bloc creux	Bloc de béton avec des cavités internes pouvant etre remplies de mortier ou de béton.	Murs intérieurs et extérieurs
Bloc a nervures	Bloc de béton creux avec des nervures internes pour offrir une resistance structurelle supplémentaire.	Murs de soutènement, murs porteurs, fondations
Bloc cellulaire	Bloc de béton legérs avec des cavités internes remplies d'air pour offrir une excellente isolation thermiques et acoustique	Murs intérieurs et extérieurs
Bloc isolant	Bloc de béton avec couches d'isolant thermiques intégres	Murs extérieurs pour offrir une meilleure isolation thermique

I.3.4.1 Maçonnerie en briques d'argile cuite :

Les briques en argile cuite sont des blocs de construction fabriqués à partir d'argile qui a été façonnée en forme de brique et ensuite cuite à une haute température pour les rendre solides et durables. Elles sont souvent utilisées dans la construction pour leur résistance, leur durabilité et leur capacité à résister aux intempéries.

En générale, la fabrication des briques suite les opérations indiquées sur (**la figure 3.8).**

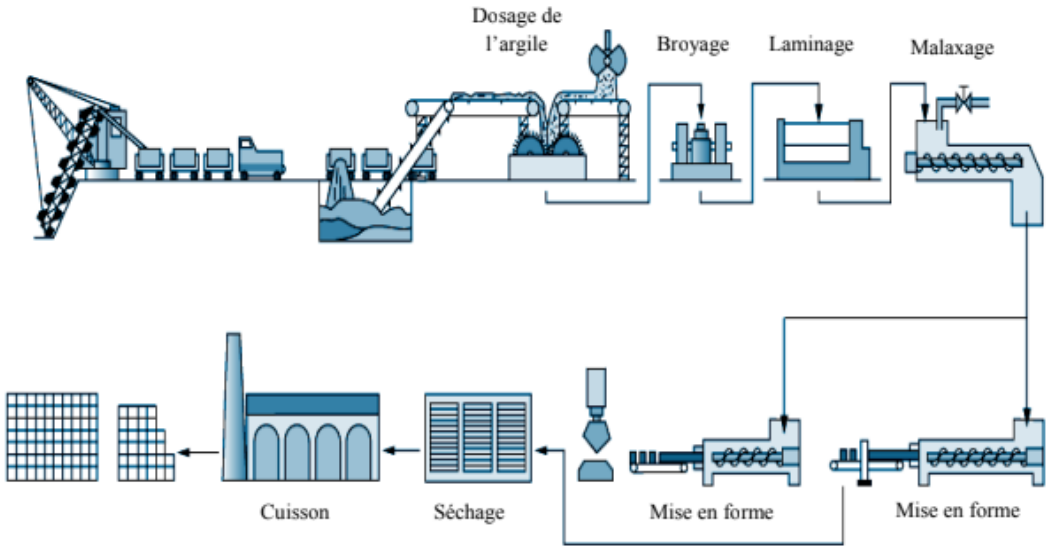


Figure 1.7 : processus de fabrication des briques en terre cuite creuses (HABER ET SMITH ,1987).

Il existe 3 types de briques :

► Briques pleines.

► Briques perforées.

► Briques creuses.

I.3.4.2 Briques pleines :

Les briques pleines ont de forme rectangulaire et qui sont entièrement pleins, c'est-à-dire qu'elles ne contiennent pas de trous ou de cavités. Elles sont souvent utilisées dans la construction pour leur solidité, leur résistance et leur durabilité. (Figure 3.9).

Les briques pleines sont souvent utilisées pour construire des murs porteurs, des cloisons et des cheminées, ainsi que pour des éléments décoratifs tels que des arches et des piliers.



Figure 1.8 briques pleines (www.bricoman.fr).

I.3.4.3 Briques perforées :

Les briques perforées (figure 3.10) sont des blocs de construction en argile cuite ou en béton qui ont des cavités à l'intérieur sous forme de trous ronds ou carrés. Elles sont souvent utilisées pour la construction de murs porteurs et non porteurs, ainsi que pour des éléments décoratifs, et sont utiles pour la ventilation et le drainage des murs.

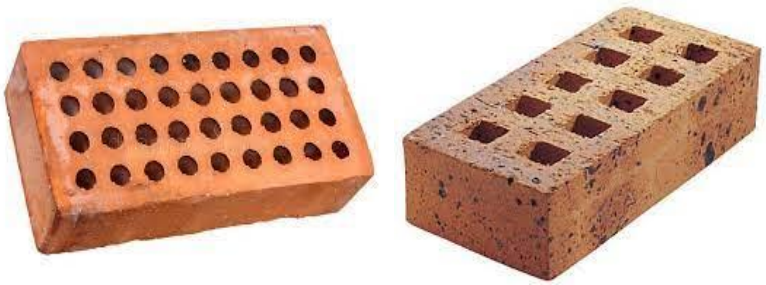


Figure 1.9 briques perforées **(fr.dreamstime.com).**

I.3.4.5 Briques creuses :

Les briques creuses sont des blocs de construction légers et économiques en argile cuite ou en béton qui ont des cavités à l'intérieur sous forme de tubes creux ou de trous. Elles sont souvent utilisées pour la construction de murs non porteurs, des cloisons et des éléments décoratifs, ainsi que pour l'isolation thermique et acoustique. Cependant, elles sont moins solides et moins résistantes que les briques pleines, ce qui les rend moins adaptées aux structures soumises à de lourdes charges. (Figure 3.11).



Figure 1.10 Briques creuses (monmacon.pro/construction-de-murs-en-brique).

I.4 LES MORTIERS :

Le mortier est un mélange de liant « chaux et /ou ciment », de sable, d'eau éventuellement d'adjuvants. **(Figure 4.1).**

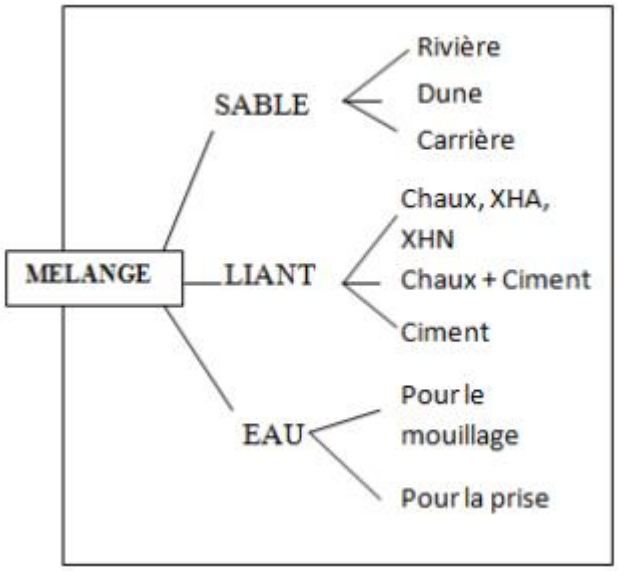


Figure 1.11 constituants d'un mortier (CHERIF ET KARA ,2013).

1.4.1 Les types de mortier :

Il y'a deux types de mortier **:**

1.4.1.1 Les mortiers de ciment :

Le mortier de ciment est un mélange de ciment, de sable et d'eau utilisé pour coller les briques, les blocs et les pierres dans la construction de murs et d'autres éléments de construction. Il est utilisé pour les projets de maçonnerie de petite et moyenne envergure, ainsi que pour la construction de structures en béton armé. Le choix du type de ciment et le rapport entre les ingrédients dépendent des propriétés requises pour la structure à construire. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour $1m^3$ de sable.

1.4.1.2 Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont des mélanges de chaux, de sable et d'eau utilisés pour la construction de murs, de fondations et d'autres éléments de construction en maçonnerie. Ils ont plusieurs avantages par rapport aux mortiers de ciment, notamment leur souplesse, leur perméabilité et leur capacité à s'adapter aux propriétés esthétiques des bâtiments historiques. Les mortiers de chaux sont disponibles dans différentes formulations pour répondre à des besoins spécifiques en matière de construction.

1.4.1.3. Les mortiers de liaisonnement :

Le mortier assure également la liaison facile "collage" des éléments unitaires entre eux, conduisant ainsi à un monolithisme favorable, s'opposant aux déformations. Il permet à ces structures de résister au plombage ou au cisaillement et aux effets dynamiques. Les qualités mécaniques d'un mortier doivent être telles qu'il n'assure qu'une très faible déformation sous les charges.

L'isolation thermique d'un mortier devrait être égale à celle des matériaux employés. Le mortier composé de : sable, d'un liant et d'eau, doit être réalisé en fonction des remarques suivantes :

1.le sable entrant dans la composition des mortiers doit être propre, sans limons ni impuretés organiques. Un bon sable doit "crisser" lorsqu'on le prend dans la main. La granulométrie des sables employés doit être étudiée soigneusement. Le diamètre des plus gros grains ne doit pas dépasser la moitié de l'épaisseur des joints.

2. Les liants employés doivent répondre aux caractéristiques mécaniques exigées. Le ciment portland ou ciment artificiel offre une très bonne résistance à la compression et d'excellentes qualités hydrauliques. En revanche, avec des dosages lutant le retrait, on obtient un mortier moins souple et moins maniable qu'avec la chaux hydraulique.

3. L'eau de gâchage des mortiers doit être propre, sans impuretés (eau potable) ou autres produits nuisibles. L'eau de mer ou l'eau pure et celle contenant des matières chimiques ou organiques sont à exclure de la préparation des mortiers.

La résistance maximale du mortier est obtenue grâce à une faible teneur en eau ; le mortier ne doit jamais être inondé (HOUTI, 2002).

1.4.1.3. Les classes de mortier :

Trois classes de mortier sont connues : le mortier M30, le mortier M5 et le mortier colle.

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

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

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

• mortier colle : il s'agit d'un mortier prêt à l'emploi adapté au montage des Blocs de béton cellulaire. Ses constituants principaux sont :

Ciment blanc, chaux grasse, sable siliceux et un rétenteur d'eau cellulosique.

1.4.1.4. Épaisseur des joints de mortier :

La nature du mortier conditionne l’épaisseur des joints (voir figure 1.9). La maçonnerie traditionnelle à joints épais met en œuvre un mortier courant. D’apparition plus récente, la maçonnerie « collée » à joints minces est rendue possible par des produits dont la tolérance de hauteur est plus réduite. Le mortier pour joints minces s’apparente à une colle

fluide. La pose à joints collés consomme environ 7 kg/m2 de mortier au lieu de 80 kg en pose à joints épais (MARCEL et coll., 2009).

● Pour les mortiers courants ou allégé : 6 mm < e < 15 mm.

● Pour les mortiers de joint mince : 0,5 mm < e < 3 mm.

1.5. DEFAUTS DANS LA MAÇONNERIE :

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

a) Mouvement des dalles.

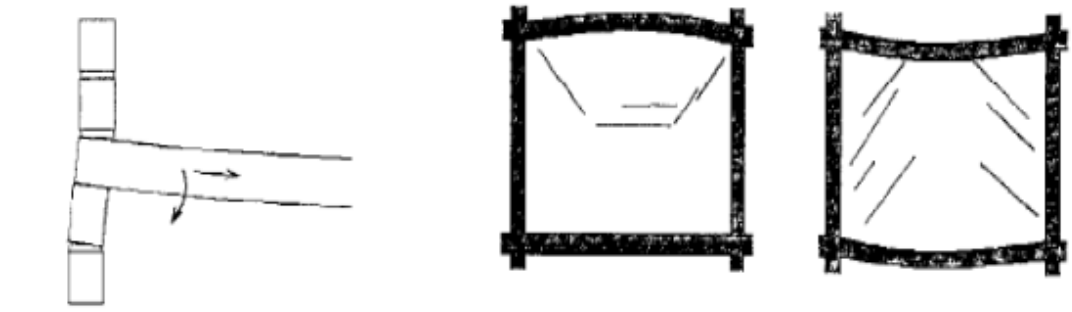


Figure 1.12 : Défauts causés par le Mouvement des dalles (www.paysdecernes.org)

b) Mouvements de dilatation thermique.

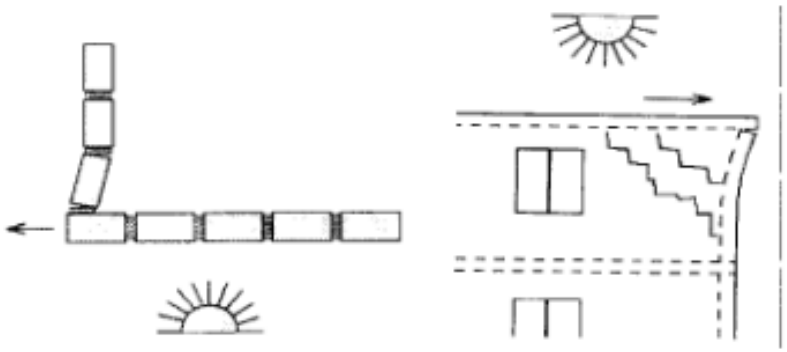


Figure 1.13 : Mouvements de dilatation thermique (www.paysdecernes.org).

c) Fissure le long des fenêtres.

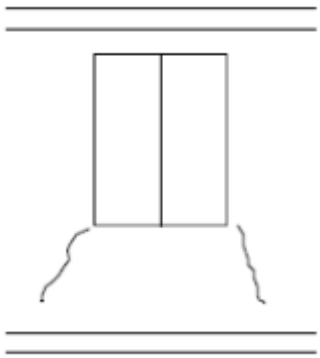


Figure 1.14: Fissure le long des fenêtres (www.paysdecernes.org).

1.5. PATHOLOGIES DE LA MAÇONNERIE :

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

► Des erreurs de conception et de choix des matériaux.

► Mauvaise qualité des matériaux.

► Infiltrations d'eau.

► Des contraintes dues à des tassements différentiels, ou séismes.

► Des poussées horizontales perpendiculaires au plan des murs, causées par les vents.

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

2. COMPORTEMENT MECANIQUE DES STRUCTURES EN MACONNERIE :

La maçonnerie soumise à différents chargements présentés sur la figure 2.1, réagit comme le béton ordinaire, elle possède une bonne résistance en compression, modérée jusqu'à mauvaise en cisaillement ; mais faible en traction.

Etant donné l'hétérogénéité des matériaux, il n'est pas possible de déterminer les caractéristiques de la maçonnerie à partir de l'étude isolée des matériaux qui la composent.

C'est pourquoi les règlements proposent la réalisation d'essais, sur de petits prismes ou des murs composés de quelques pièces (HOUTI, 2002).

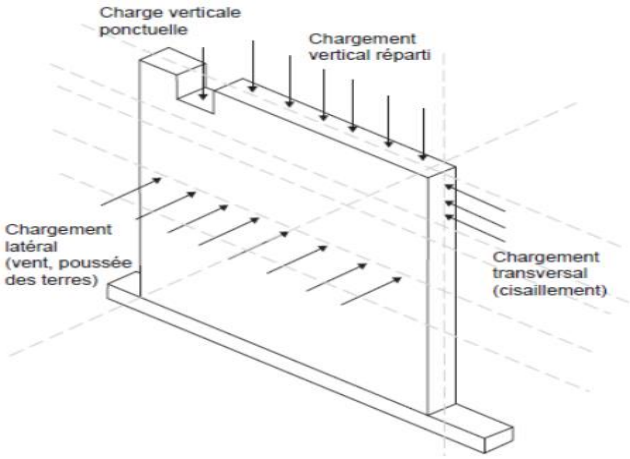


Figure 1.15 : types de chargement appliqués sur les murs (MARCEL et coll,2009).

2.1 MODE DE RUPTURE DE LA MAÇONNERIE :

Dans l'étude du comportement de la maçonnerie, l'identification des différents modes de rupture se révèle d'une importance considérable. Plusieurs approches peuvent être considérées pour comprendre la rupture de la maçonnerie sous chargement. D'une part, une étude locale des modes de rupture liés à la fissuration le long des joints de mortier et au travers des briques, et d'autre part, liés à l'écrasement par compression, traction ou cisaillement de ces mêmes blocs. De façon générale, les modes de rupture de la maçonnerie sont étudiés selon qu'ils s'agissent des ruptures en plan ou des ruptures hors plan du mur. Le mode de rupture réel d'un élément peut être une combinaison de ces modes cités précédemment (GERTIN, 2014).

Les différents modes de rupture des murs en maçonnerie, soumises à un chargement biaxial, sont présentés dans ce qui suit (voir figure 2.2).

2.2.1 Rupture par glissement :

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

2.2.2 Rupture par basculement :

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

2.2.3 Rupture par compression du coin :

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

2.2.4 Rupture par cisaillement :

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

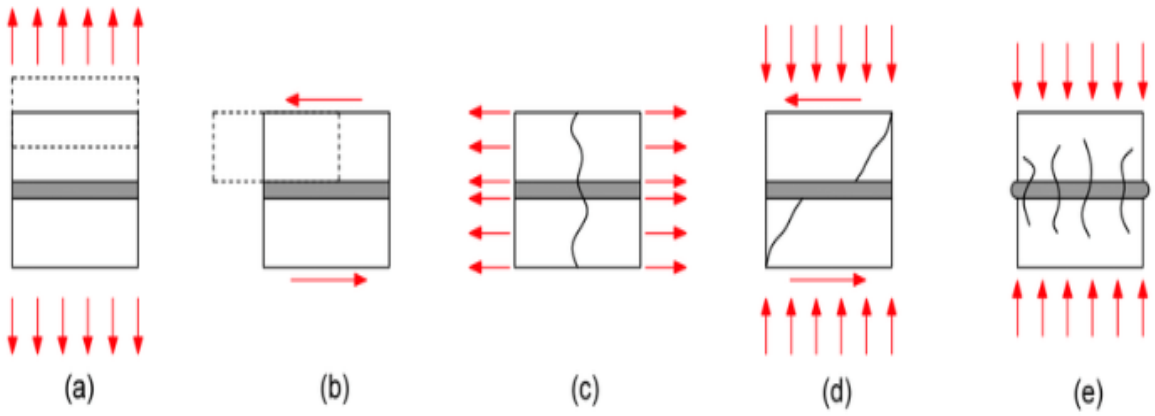


Figure 1.16 Mécanismes de rupture de la maçonnerie : (a) fissuration du joint en traction ; (b) glissement le long des joints horizontaux ou verticaux ; (c) fissuration des blocs en traction directe ; (d) fissuration en traction diagonale des blocs ; (e) écrasement de la maçonnerie. (Www.researchgate.net).

2.3 COMPORTEMENT DES MURS SOUMIS AUX CHARGES HORIZONTALES ET SOUS DES CHARGES LATERALES MONOTONES :

Quand un panneau en maçonnerie est sujet à des charges horizontales, telles que celles provenant des séismes et du vent, leur comportement est différent, selon qu'il s'agisse de murs isolés ou porteurs. Les derniers présentent un comportement plus ductile que les premiers ; mais ils présentent un réseau de fissuration similaire (Carter et Stafford, 1969).

Les modes de rupture qui peuvent avoir lieu sont :

►Rupture par traction diagonale.

► Rupture par glissement.

► Rupture par flexion : la fissuration se produit dans des zones voisines de la base encastrée.

► Rupture mixte, caractérisée par l'apparition de fissures diagonales qui tantôt traversent les pièces, tantôt suivent la direction des joints.

► Ecrasement du matériau dans les zones en compression.

2.4 COMPORTEMENT DES MURS VIS-A-VIS DE LA CHARGE CONCENTREE :

Si la majorité des efforts appliqués au droit d'un mur sont uniformes et amenés par le poids de la structure au-dessus, les charges concentrées, sont dues aux impacts d'extrémités de poutre, de linteaux ou arcs, etc.

Une maçonnerie peut résister à un chargement concentré si celle-ci est correctement positionnée et suit une répartition à 45° similaire à celle montrée en figure 2.3 (PAGE et HENDRY, 1987).

Il n'y a aucune augmentation de contrainte pour les charges concentrées appliquées à l'extrémité d'un mur (KIRTSCHIG et KASTEN, 1979). Les charges concentrées ont montré que le mode de rupture pour ce type de chargement se produit dans les fentes des blocs plutôt que par une rupture verticale (PAGE et ALI, 1987).

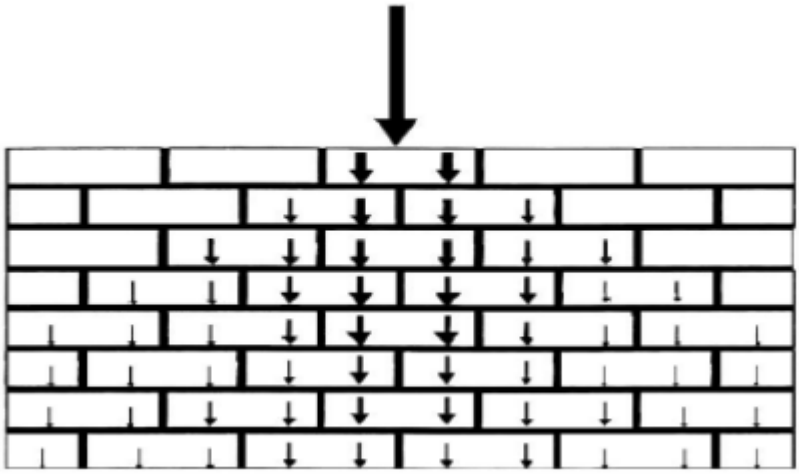


Figure 1.17 Propagation de la charge concentrée d'un mur (ASTME519-02, 2002).

2.5 COMPORTEMENT AU CISAILLEMENT DES MURS EN MAÇONNERIE :

L'évaluation de la résistance au cisaillement est requise pour les murs en maçonnerie soumis aux actions horizontales, tel que le séisme et le vent. Les actions horizontales sont généralement combinées avec les actions gravitaires du poids propre ou des surcharges normales aux joints de mortier (MEZIGHECHE, 2010).

Les murs en maçonnerie dans les structures soumises aux actions horizontales présentent généralement deux modes de rupture :

► rupture par cisaillement : lorsque les fissures apparaissent le long du joint de mortier horizontal.

► rupture par tension diagonale : qui est généralement caractérisée par une fissuration par tension diagonale.

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.

2.6 COMPORTEMENT EN TRACTION DES MURS EN MAÇONNERIE :

La maçonnerie construite avec des mortiers traditionnels à une résistance très limitée face aux efforts de traction pure. La résistance à la traction est habituellement prise égale à zéro. Cette résistance peut être sensiblement améliorée par l'ajout d'adjuvants tels que les Polymères ou le Latex.

La résistance à la traction horizontale est très rarement mesurée et aucun essai standard n'est disponible d'où l'absence totale de données significatives. L'essai le plus familier est normalisé par ASTM C952-76 et illustré dans la figure 2.4. Les résultats de cet essai indiquent que la résistance à la traction directe se situe entre un tiers et deux-tiers du moment de flexion (HOUTI, 2002).

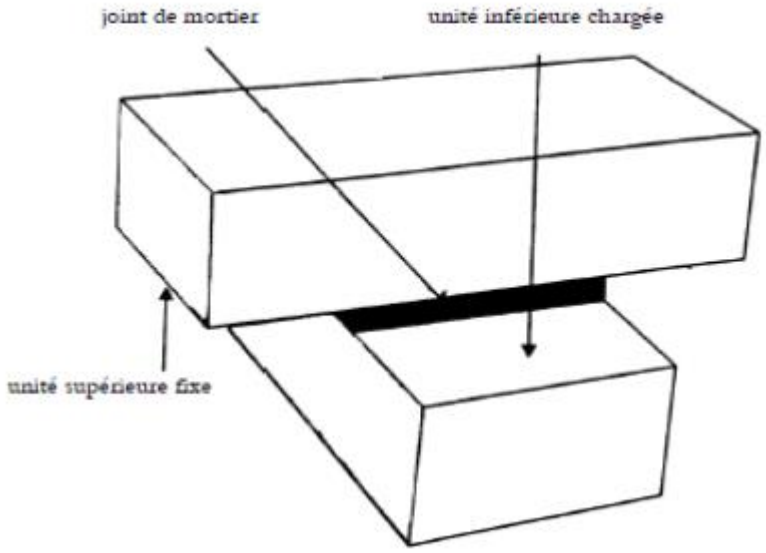


Figure 1.18 Essai de traction (HOUTI ,2002).

2.7 COMPORTEMENTS EN FLEXION DES MURS EN MACONNERIE :

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

La maçonnerie construite ces dernières décennies a été, cependant, réalisée avec des murs minces dont la résistance aux efforts latéraux (exemple le vent) dépend principalement de l'adhérence du mortier. Ce dernier peut être amélioré par l'ajout d'adjuvants.

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

- Lorsque l'effort est appliqué au plan perpendiculaire aux joints de pose (figure 2.5).
- Lorsque l'effort est appliqué au plan parallèle aux joints de pose (figure 2.6).

Il est clair que la résistance est susceptible d'être hautement anisotropie, puisque la Résistance à l'effort au plan parallèle aux joints de pose est assurée par :

a) La résistance au cisaillement des mortiers de pose,

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

c) L'adhérence des joints de mortier vertical,

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

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

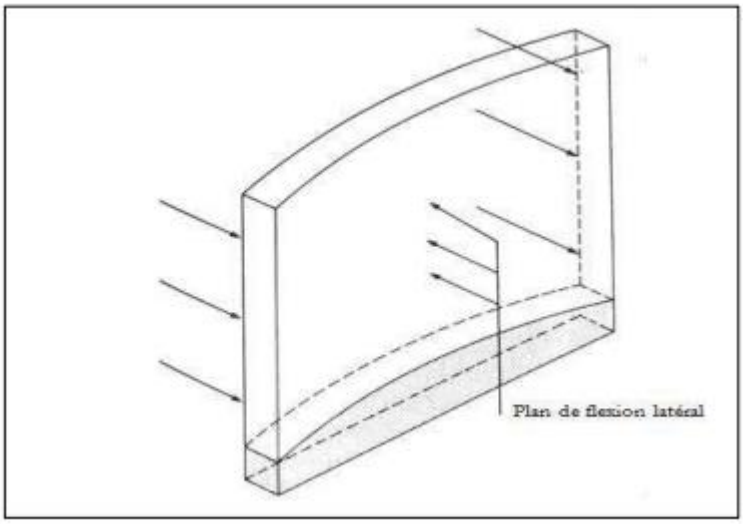


Figure 1.19 Flexion due aux efforts appliqués au plan perpendiculaire au joint de pose.

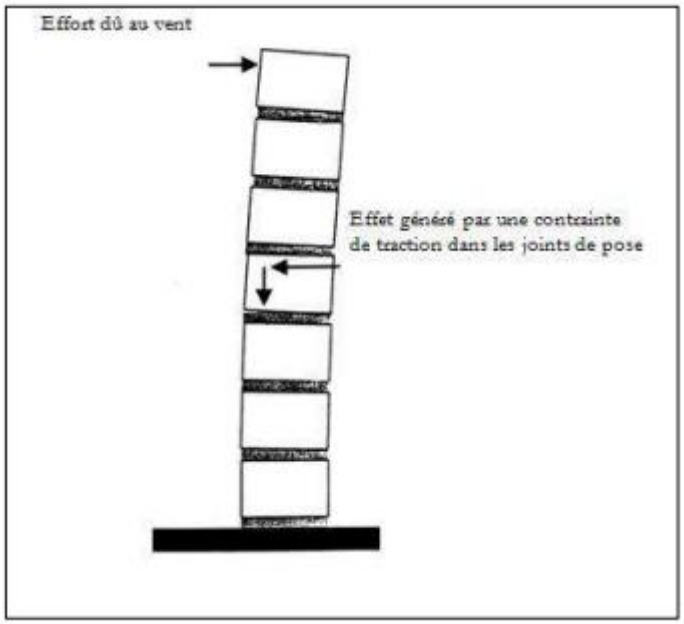


Figure 1.20 Flexion due aux efforts appliqués au plan parallèle au joint de pose.

2.7.1 Flexion uni-axiale :

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

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

La stabilité des murets en maçonnerie de brique, chargés latéralement dépend de leur résistance à la traction par flexion. Cette résistance dépend des facteurs qui conditionnent l'adhésion brique mortier. Si un mur est appuyé horizontalement sur sa barre supérieure et inférieure, sa résistance Latérale dépend de la résistance à la traction par flexion développée à travers le joint. Si en plus, il est appuyé latéralement sa résistance latérale dépend aussi de sa résistance à la traction par flexion développée le long de la direction perpendiculaire au lit de joint (voir figure 2.7). Cette résistance est généralement trois fois plus grande que celle à travers les joints si l'adhésion (mortier-brique) est bonne. La résistance à la flexion

parallèle au lit du joint est conditionnée par la résistance à la traction par flexion des briques. Si l'adhérence est mauvaise, cette résistance est conditionnée principalement par la résistance au cisaillement développée dans le joint à l'interface brique-mortier (PAGE et HENDRY, 1987).

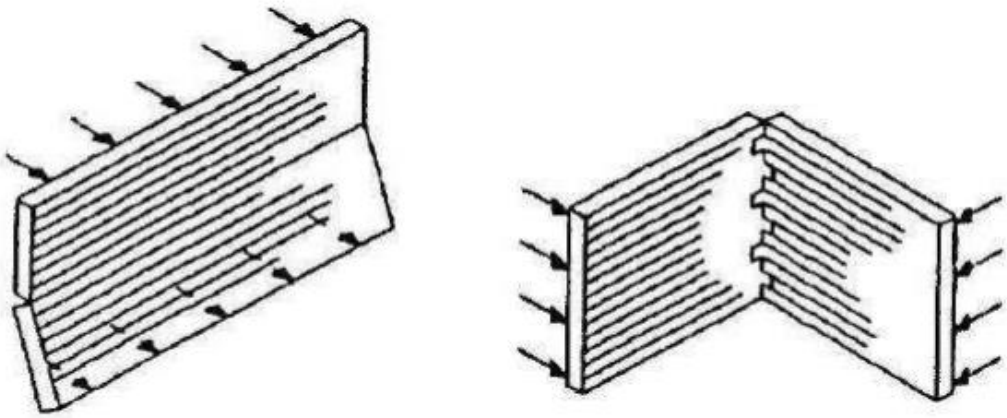


Figure 1.21 Comportement à la flexion des murs en maçonnerie (NF EN 1996-1-1,2006).

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

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

En particulier le comportement de la maçonnerie dans la direction de la flexion verticale est très complexe. En effet, pour la flexion horizontale, on n'observe qu'un seul mode de rupture, la ligne de fissure apparait dans les joints d'assises (joints horizontaux) (Figure. 2.8a). Tandis que pour la flexion verticale, deux modes de rupture, qui dépendent des résistances relatives des constituants de la maçonnerie, sont possibles. Le premier traduit une rupture ou « ligne de fissure » en adéquation avec une vision homogénéisée du milieu (Figure2.8b), l'hétérogénéité du milieu n'est pas mise en exergue. Le second se traduit par une ligne de rupture en escalier, sous forme de zigzag ou forme dentée (Figure. 2.8b). Ce second mode traduit clairement la discontinuité du matériau, l'échelle de la brique constitutive et celle du mortier sont clairement identifiées. Pour les murs dont la résistance d'adhérence du mortier est relativement forte par rapport à la résistance des briques constitutives, la ligne de rupture va avoir tendance à apparaître comme une fissure verticale au travers des briques et des joints verticaux (Figure. 2.8c). La rupture de type zigzag alterne la propagation de fissure le long d'un joint vertical puis le long d'un joint d'assise (Figure. 2.8b).

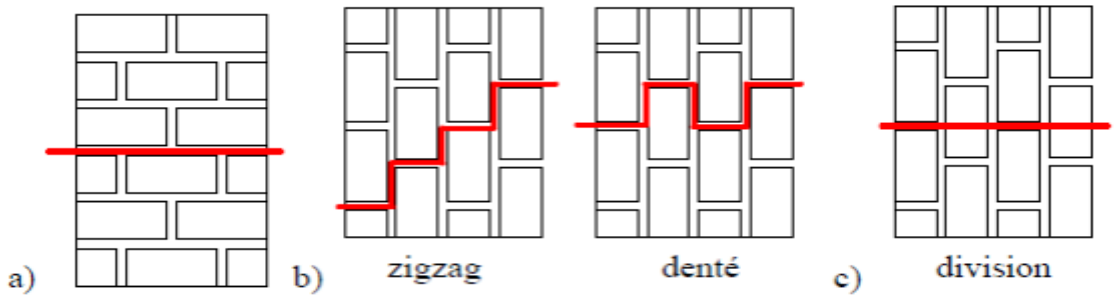


Figure 1.22 Modes de rupture sous flexion uni-axiale : a) flexion horizontale. b) flexion verticale Zigzag, denté) ; c) flexion verticale (division) (GAZZOLA, 1986).

2.7.2 Flexion biaxiale :

Un mur travaille à la flexion biaxiale lorsqu'il est en appui sur 3 ou 4 de ses extrémités ou bords (Figure. 2.9) (DRYDSAKE et coll., 1988), ou bien lorsqu'il porte sur 2 bords adjacents. Le mécanisme de rupture des murs sous flexion biaxiale est très complexe car sous cette condition de charge, la distribution du moment de flexion n'est pas monotone ; mais varie à travers le panneau. Les modes de rupture caractéristiques dépendent, des dimensions du panneau, des conditions aux limites, ainsi que des résistances relatives des unités (briques, blocs) et joint d'adhésion ou mortier.

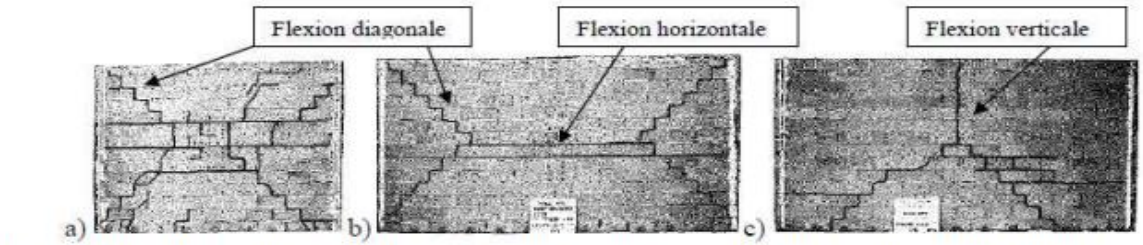


Figure. I.20 : Modes de rupture des murs : a)et b) mur supportés sur 4 bords ; c) mur supportés sur 3 bords (DRYSDALE, 1988).

Figure 1.23 Modes de rupture des murs : a) et b) murs supportés sur 4 bords ; c) murs supportés sur 3 bords (DRYSDALE, 1988).

2.8 COMPORTEMENT DE LA MAÇONNERIE EN COMPRESSION :

La maçonnerie chargée uniformément atteint le domaine de la rupture par le développement des fissures parallèles à la direction de chargement qui sont dues aux contraintes de traction, dont la direction est perpendiculaire à celle des contrariantes de compression.

La résistance à la compression de la maçonnerie est très faible vis-à-vis de la résistance nominale de compression des briques (fournie par les essais standards). Par contre la résistance à la compression de la maçonnerie peut être plus importante que la résistance nominale du mortier.

La résistance à la compression de la maçonnerie varie comme la racine carrée de la résistance normale des briques et comme la racine cubique ou quatrième de la résistance à la compression du mortier. A partir de ces observations on peut tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Les contraintes de traction causant les fissurations sont dues à déformations générées du mortier du joint.
- ✓ La résistance nominale à la compression des briques (essais standards) ne peut pas être exploitée directement pour déterminer la résistance des briques dans les murs car les modes de rupture d'une brique dans les deux situations sont différentes (CHERRABI.A, 1990).

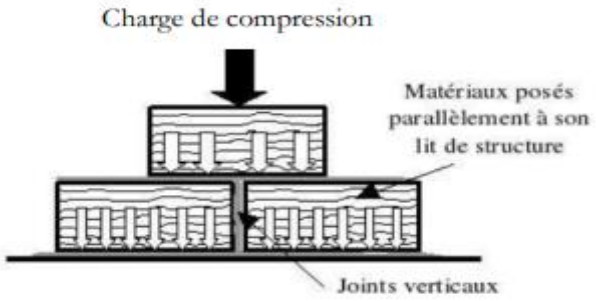


Figure 1.24 charge de compression (CHERRABI.A, 1990).

2.8.1. Compression uni axiale

Compression uni axiale perpendiculaire aux lits

La maçonnerie montre une très bonne résistance face aux sollicitations de compression axiale. De ce fait, les structures ont été construites de telle sorte que la maçonnerie soit principalement sollicitée en compression (murs porteurs massifs, arcs, voûtes, ...). Traditionnellement, la compression unie axiale perpendiculaire aux lits était donc considérée comme la seule propriété mécanique pertinente pour qualifier la maçonnerie.

Hilsdorf fut l'un des premiers à tenter d'établir une relation entre la résistance en compression de la maçonnerie et la résistance de ses constituants. Selon lui, les différences de déformations entre les blocs et le mortier (le premier étant plus rigide que le second), entraîne une compression triaxiale des joints de mortier, tandis que les blocs sont en traction biaxiale (Figure 2.11). Ceci expliquerait deux caractéristiques de la rupture de la maçonnerie en compression uni axiale :

- La rupture s'initie par fissuration verticale ou par écrasement des blocs,
- Les contraintes de compression à la rupture excèdent la résistance en compression uni-axiale du mortier

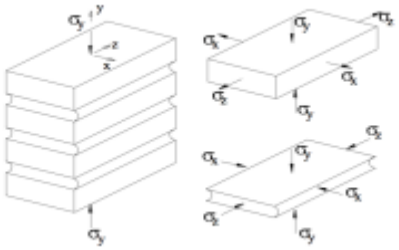
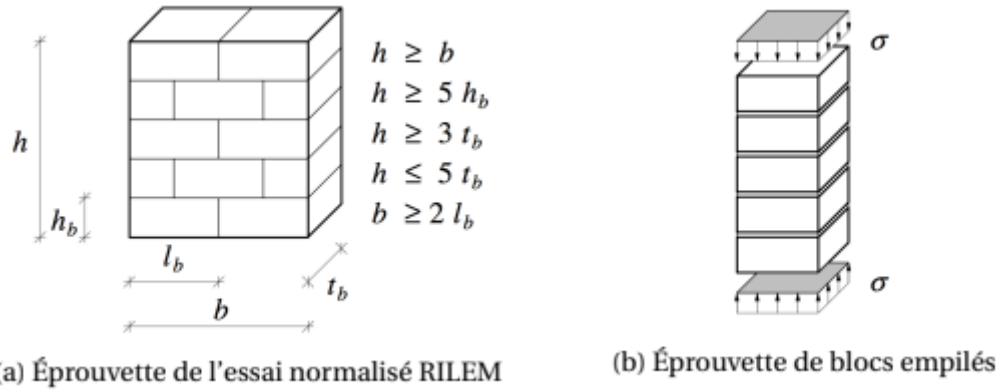


Figure 1.25 État de contrainte dans la maçonnerie, sous compression uni axiale.

La résistance en compression de la maçonnerie peut être déterminée expérimentalement. L'essai normalisé RILEM peut être utilisé, cependant ces éprouvettes sont encombrantes et chères à réaliser (Figure 2.12a). Par conséquent, des tests de compression sur des blocs empilés (Figure 2.12b) sont souvent réalisés, même si les résultats obtenus peuvent être légèrement différents du test normalisé. En menant des essais sur des panneaux faits de blocs en terre crue de dimensions 500 × 250 × 600[mm3], BINDA et. Al. Ont montré que la résistance en compression du mortier utilisé influence fortement la résistance en compression de l'échantillon. Néanmoins, l'augmentation de la résistance en compression de l'échantillon conduit à un comportement plus fragile de la maçonnerie (Figure 2.13a).



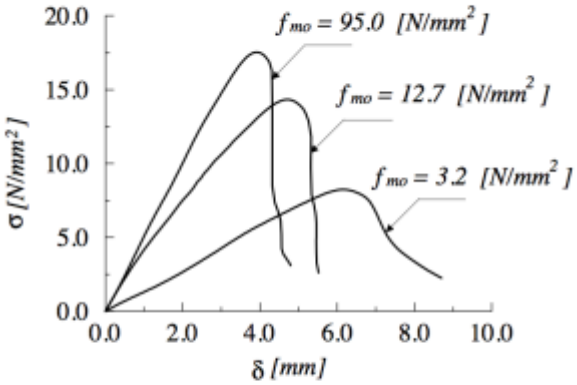
(a) Éprouvette de l'essai normalisé RILEM (b) Éprouvette de blocs empilés

Figure 1.26 Montage des essais en compression uni axiale

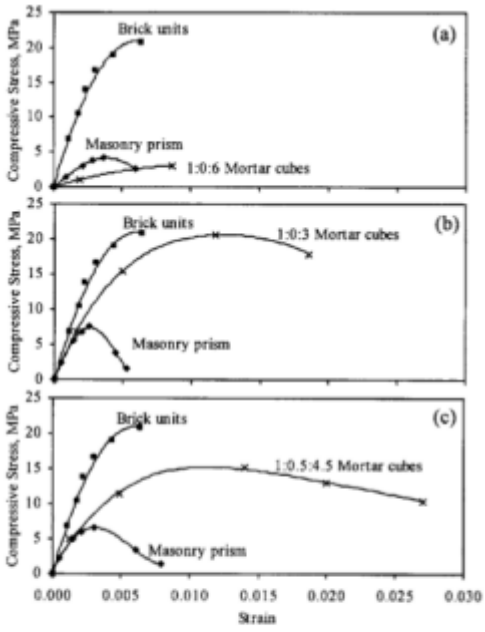
Plus récemment, Kaushik et. Al. Ont testé des éprouvettes en compression avec des briques d'argile pleines et différents types de mortier. Ils montrent que les courbes contrainte déplacement de la maçonnerie se trouvent souvent en-dessous des courbes trouvées pour Les briques et le mortier qui la composent (Figure 1.4b). Autrement dit, l'assemblage est moins résistant que chaque élément pris individuellement. Ceci va à l'encontre de ce qui est généralement supposé, à savoir que la résistance de la maçonnerie se trouve bornée par les résistances du composant le plus faible (le mortier) et du composant le plus fort (la brique).

Cette hypothèse devient réaliste lorsque l'un des composants est beaucoup plus faible que l'autre.

Ceci illustre l'effet structurel de la maçonnerie, dont la résistance ne se résume pas seulement à la résistance de ses composants. Il faut également considérer des éventuelles concentrations ou redistributions de contraintes entre les phases, qui jouent aussi un rôle dans le comportement final de la structure.



(a) Courbes force-déplacement obtenues par Binda *et. al.* [16], où f_{mo} est la résistance en compression du mortier



(b) Courbes force-déplacement obtenues par Kaushik *et. al.* [52] ; mortier (Ciment:Chaux:Sable) faible (a), fort (b) et intermédiaire (c)

Figure 1.27 Résultats d'essais en compression uni axiale

La norme européenne donne une formule de la résistance caractéristique en compression de la maçonnerie fk, obtenue à partir de la résistance caractéristique des éléments de corps et du mortier de montage :

$$f_k = K \times f_b^{\alpha} \times f_m^{\beta}$$

Où fb est la résistance moyenne normalisée de l'élément, fm est la résistance moyenne du mortier de montage, et K est un coefficient qui dépend du type de blocs et de mortier assemblés. Les coefficients α et β sont pris égaux à 0,7 et 0,3 respectivement, dans le cas d'un montage au mortier courant avec un joint épais (>3mm). Le coefficient α est supérieur à β, car la résistance en compression de la maçonnerie est supposée plus influencée par la résistance des blocs que par la résistance du mortier. Kaushik et. Al. Ont étudié la conformité de cette équation à des résultats expérimentaux. L'équation de l'Eurocode 6 serait appropriée dans le cas de maçonneries constituées de briques à forte résistance, mais l'erreur augmente lorsque l'on considère des briques dont la résistance est plus faible. Pour des briques de faible à moyenne résistance, les auteurs proposent des coefficients α = 0, 49 et β = 0, 32, ajustés par rapport à leur campagne expérimentale, qui prédiraient mieux la résistance en compression de la maçonnerie dans ces cas.

Compression uni axiale parallèle aux lits

La maçonnerie résiste moins bien à la compression parallèle aux lits, car les joints sont continus dans ce sens. Ce comportement a reçu peu d'attention de la part des chercheurs.

L'Eurocode 6 prévoit le calcul des maçonneries chargées parallèlement au lit de pose. Le calcul se fait de la même manière que pour la compression perpendiculaire au lit de pose (voir paragraphe précédent), en tenant compte de l'axe de chargement des éléments dans la détermination de fb. De plus, pour certains types de blocs (classe 2 ou 3), un coefficient de sécurité est ajouté à la valeur de la résistance en compression fk.

Influence de l'orientation des joints

La rupture en compression uni axiale a généralement lieu dans un plan normal au panneau testé. Selon l'orientation du joint horizontal par rapport aux contraintes appliquées, la rupture se fait par fissuration et par glissement dans les joints horizontaux et/ou verticaux ; ou par un mécanisme combinant à la fois la rupture de la brique et du mortier (Figure 2.15).

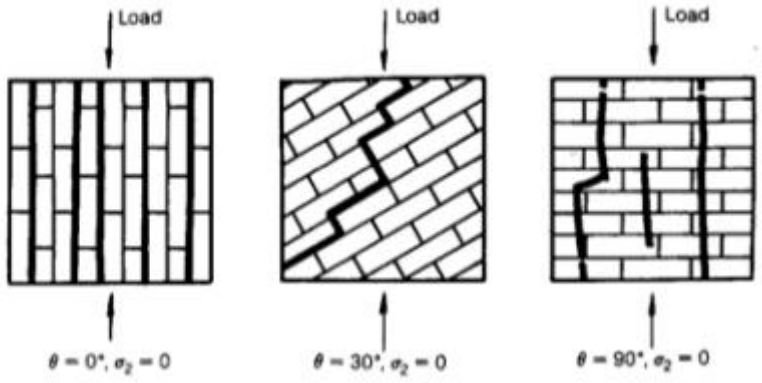
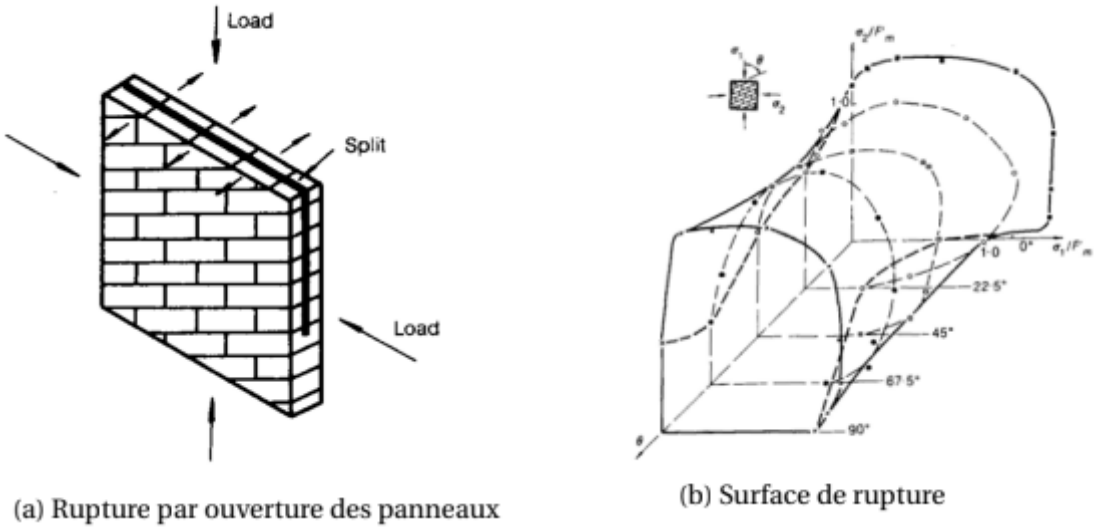


Figure 1.28 Modes de rupture en compression uni axiale.

2.8.2 Compression biaxiale

L'un des premiers à étudier la rupture en compression biaxiale de la maçonnerie, importante pour prédire notamment la rupture par écrasement dans les murs de contreventement. La surface de rupture obtenue en fonction de l'orientation des joints horizontaux par rapport aux contraintes principales est donnée dans la Figure 2.16b. Pour la plupart des ratios des contraintes principales, la rupture apparaît de manière soudaine, par ouverture du panneau dans le plan parallèle à sa surface libre, et à la moitié de l'épaisseur, sans dépendance à l'orientation du joint horizontal (Figure 2.16a). Il paraît donc raisonnable de penser que le

type de mortier et l'adhérence mortier/brique n'influence pas ce type de rupture. Cependant, lorsque l'une des contraintes principales devient prédominante, la rupture se fait plutôt par un mécanisme combinant la rupture du joint et l'ouverture latérale. Les propriétés du mortier et la qualité de l'interface brique/mortier joueraient donc un rôle dans ce cas.



(a) Rupture par ouverture des panneaux (b) Surface de rupture

Figure 1.29 Résultats de la campagne expérimentale sur la maçonnerie chargée en compression biaxiale.

Plus tard, Dhanasekar reprend les résultats expérimentaux de Page, et réexprime la surface de rupture, non plus en termes de contraintes principales, mais en termes de contraintes locales. D'après lui, une surface de rupture exprimée en termes de contraintes relatives aux plans des joints est plus logique, car les mécanismes de rupture des panneaux impliquent la plupart du temps la rupture des joints, en particulier lorsque des contraintes de traction sont présentes dans les joints. Cette formulation serait donc plus appropriée pour modéliser la maçonnerie avec des techniques aux éléments finis.

2.9 RESISTANCE AU CISAILLEMENT EN FONCTION DE LA CHARGE VERTICALE (COMPRESSION) :

C'est le cas des murs porteurs sollicités par des efforts verticaux. Plusieurs essais ont été réalisés sur des murs en maçonnerie soumis à ce type de chargement pour déterminer les résistances ultimes. Il existe une relation de type coulomb (figure2.11) entre la résistance au cisaillement et la contrainte de pré compression c'est-à-dire il existe une résistance au

cisaillement initiale qui dépend de l'adhésion entre les briques et le mortier à laquelle vient s'ajouter une composante de frottement proportionnelle à la pré compression soit :

$$\sigma = \tau_0 + \mu \,.\, \sigma_c. \tag{2.1}$$

Avec :

τ_o : résistance au cisaillement pour un effort normal nul

μ : coefficient de frottement apparent

σc : contrainte verticale de pré compression

A la limite lorsque σ_c atteint la résistance de compression à la rupture, la résistance au cisaillement s'annule, la résistance au cisaillement dépend de la résistance du mortier et pour des murs en maçonnerie de brique ayant une résistance ultime à la compression entre 20 et 50 N/mm², τ_o =0.3 N/mm² pour un bon mortier et τ_o =0.2 N/mm² pour un mortier moyen. La valeur moyenne de μ est d'environ 0.4.

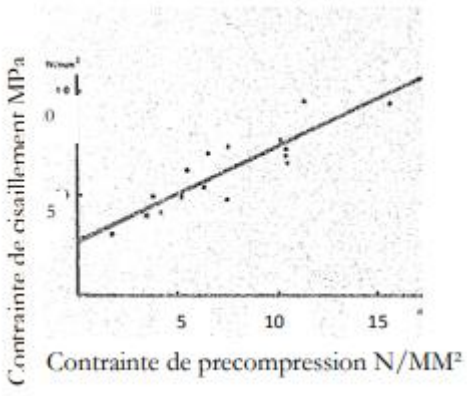


Figure 1.30 Relation entre la résistance au cisaillement et la contrainte de pré-compression (CHERRABI.A, 1990)

2.10 ESSAI DE RESISTANCE A LA FLEXION SUIVANT L'EUROCODE6 ET DTR C2.45 :

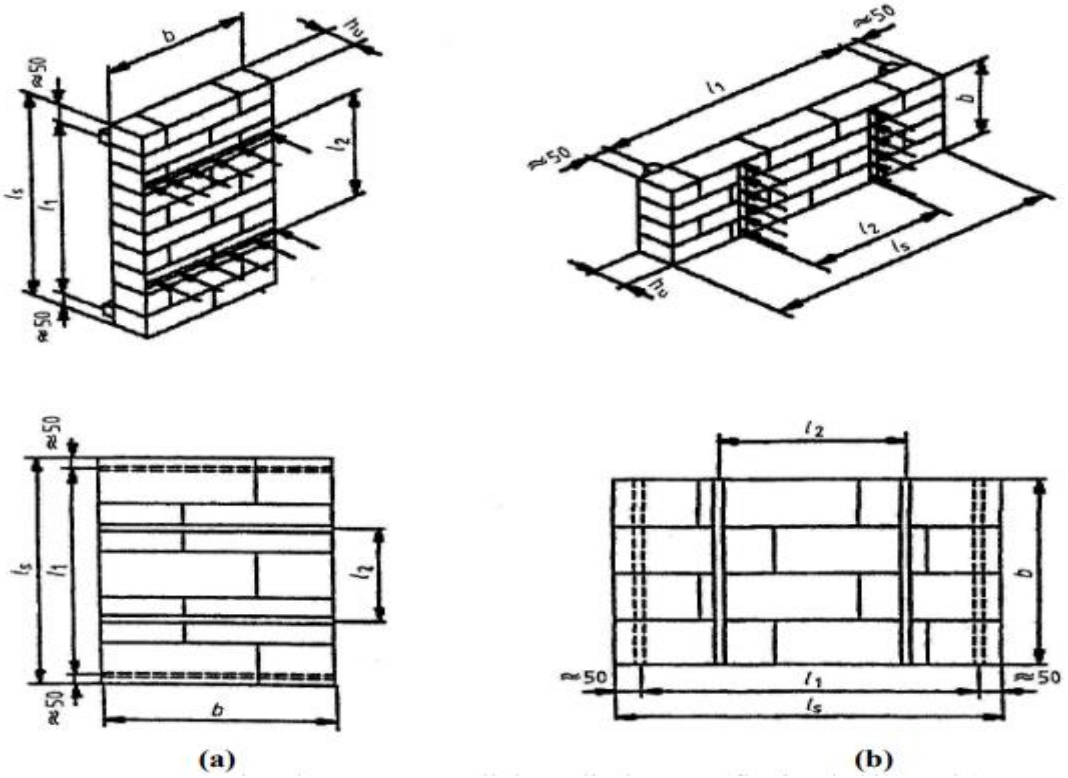
2.10.1. Essai de résistance à la flexion :

Le but de l'essai est la détermination de la résistance en flexion sous l'action des forces appliquées perpendiculairement à son plan suivant DTR.C2-45 : « Conception et calcul des maçonneries » (DTR.C2-45,1997). On détermine également la flèche maximale. L'essai

consiste à soumettre le plan du muret à un système de charge uniforme au moyen de vérins dotés d'indicateurs de charge (capteurs de force) pour la lecture des forces appliquées. Un système de charges verticales peut être utilisé pour voir son influence. Dans cet essai on distingue 2 types de flexion (WIELAND, 1996) :

► flexion dont la déformée est verticale (appuis horizontaux - voir figure 2.12a).

► flexion dont la déformée est horizontale (appuis verticaux - voir figure 2.12b).



(a) : Plan de rupture parallèle au lit de pose (flexion horizontale).

(b) : Plan de rupture Perpendiculaire au lit de pose (flexion verticale).

Figure 1.31 Test flexion 4 points (Eurocode 6) (EUROCODE6, 1996).

2.10.2 Résistance caractéristique à la flexion fxk :

Deux plans de rupture privilégiés sont considérés pour déterminer la résistance caractéristique à la flexion fxk1 ou fxk2 (MARCEL et coll., 2009) ; (voir tableaux 2.1 et 2.2).

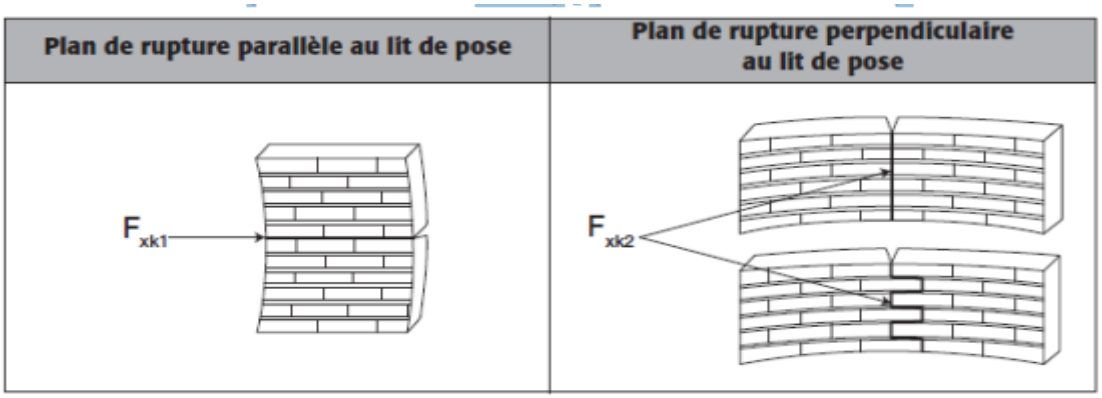


Figure 1.32 Définition des résistances caractéristiques à la flexion (MARCEL et coll., 2009).

Tableau 1.2 : Valeurs de fxk1 pour un plan de rupture parallèle aux lits de pose suivant la norme XP P10 202 (DTU, 1985).

Eléments De maçonnerie	f_{xk1} **(N/mm2)**		
	Mortier d'usage courant	Mortier de joints minces	Mortier allégé
	Fm 5 N/mm^2 ou 10 N/mm^2		
Terre cuite	0.10	0.15	0.10
Silico-calcaire	0.10	0.20	Non utilisé
Béton de granulats Courant ou légers	0.10	0.20	Non utilisé
Béton cellulaire autoclave	0.10	0.15	0.10
Pierre reconstituée	0.10	Non utilisé	Non utilisé
Pierre naturelle prétaillée	0.10	0.15	Non utilisé

Tableau 1.3 : valeurs de f_{xk2} pour plan de rupture perpendiculaire aux lits de pose suivant la norme XP P10 202 (DTU, 1985).

Eléments De maçonnerie		$fxk2$ (N/mm^2)		
		Mortier d'usage courant	Mortier de joints minces	Mortier allégé
		Fm 5 N/mm^2 ou 10 N/mm^2		
Terre cuite		0.40	0.15	0.10
Silico-calcaire		0.40	0.30	Non utilisé
Béton de granulats Courant ou légers		0.40	0.30	Non utilisé
Béton cellulaire autoclave	ρ<400Kg/m^3	0.20	0.20	0.15
	ρ≥400Kg/m^3	0.40	0.30	0.15
Pierre reconstituée		0.40	Non utilisé	Non utilisé
Pierre naturelle prétaillée		0.40	0.15	Non utilisé

2.12 CONCLUSION :

La maçonnerie est considérée comme la technique de construction la plus ancienne et la plus répandue. Elle est applicable par toutes les entreprises, et en particulier par l'artisan « maçon ». Elle se caractérise par ses matériaux supports ; brique, parpaing, mortier où chacun d'entre eux présentent des avantages, particulièrement le cout de réalisation et la facilité de transport sur les chantiers. Les divers matériaux fabriqués (pleins, perforés ou creux) permettent la réalisation de structures porteuses et de remplissage. Le soin avec lequel, les matériaux constitutifs de la maçonnerie sont choisis et les structures sont construites, permet d'éliminer un nombre important de défauts et de pathologies observées sur ce type de construction.

Les modes de ruptures montrent que la résistance de l'ensemble, dépend des résistances des constituants (support et joint) et des conditions aux limites. En effet, dans le cas d'un joint plus résistant que les briques, ces dernières sont traversées par les fissures qui cèdent en premier et par voie de conséquence l'ensemble s'écroule. Par contre, avec un joint moins résistant que le support, la fissuration des murets commence généralement au niveau du joint.

De plus, un bord soutenu, introduit des effets de cisaillement et donc l'apparition des fissures en diagonale.

Lors de l'élaboration de cette synthèse bibliographique, nous nous sommes rendu compte que la maçonnerie réagit comme le béton ordinaire ; elle possède une bonne résistance en compression, modérée jusqu'à mauvaise en cisaillement mais faible en traction. Étant donné l'hétérogénéité des matériaux, il n'est pas possible de déterminer les caractéristiques de la maçonnerie à partir de l'étude isolée des matériaux qui la composent. C'est pourquoi les règlements proposent la réalisation d'essais, sur de petits prismes ou des murs composés de quelques pièces.

CHAPITRE 2 : PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

2.1 INTRODUCTION :

Le dimensionnement des structures en maçonnerie nécessite une bonne compréhension du composite brique-mortier sous l'effet de différents types de charges.

Notre étude concerne des murets de maçonnerie en brique perforées soumis à un effort de compression. Nous avons utilisé pour ce faire, trois types de brique perforée et un seul type de mortier de jointement (mortier à base de ciment, sable et chaux). L'épaisseur du joint utilisé est (10 mm).

Ce chapitre présente la fabrication des spécimens, la conception de différents types de montages expérimentaux pour mettre à l'essai les spécimens de maçonnerie et les protocoles suivis pour les essais.

2.2 MATÉRIAUX UTILISES :

2.2.1 Provenance des matériaux :

Le sable : oued-souf

Le ciment : ciment portland au calcaire (NA442-CEM II/B-L 42.5N) provenant de la cimenterie de « LAFARGE MATIN ».

La chaux Hydraulique : Cette chaux provient de l'usine de « HASSASNA » fabriquée dans la Wilaya de Saïda.

La brique utilisée est une brique perforées de (10x20x30 cm^3) ,( )et ( ) provenant de la briqueterie de (Rem chi - Wilaya de Tlemcen).

2.2.2 Caractéristiques des matériaux :

2.2.2.1 Les briques :

Les trois types de brique perforée :

Premier type : 22 x 10.5 x 5.5 cm^3

Deuxième type : 22.2 x 11 x 5.5 cm^3

Troisième type : 21.4 x 10.5 x 5.5 cm^3

● Caractéristiques physiques :

La masse volumique (tableau 3.1) des éléments est déterminée par la méthode géométrique. Les mesures sont effectuées sur neuf briques. La masse volumique d'une brique $\boldsymbol{\rho}$ (kg/m^3) est calculée par l'expression (3.1).

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad (3.1)$$

Où :

$\boldsymbol{\rho}$: masse volumique apparente (kg/m^3).

M : masse des briques (kg).

V : volume net des briques.

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques des briques creuses en terre cuite utilisées.

N°	Masse (Kg)	Volume net ($\boldsymbol{dm3}$)	$\boldsymbol{\rho}$ ($\boldsymbol{kg/dm3}$)
B1	1.6481	0.9141	1.802
B2	1.5895	0.7913	2.008
B3	1.2595	0.7056	1.785

● **Caractéristiques mécaniques :**

Résistance à la compression des briques :

Des essais de résistance à la compression ont été réalisés sur 3 briques (voir figure 3.1) jusqu'à la rupture. Ces échantillons ont été surfacés dans le sens du chargement. La résistance en MPa est calculée selon l'expression (3.2).

$$R_c = \frac{F_b}{S_n} \qquad (3.2)$$

Où :

R_c : Résistance à la compression (MPa).

F_b : Charge maximale de rupture en (kN).

S_n : Section nette moyenne de la brique (cm^2).

Les résultats sont consignés dans le tableau 3.2.

Tableau 2.2 : Résistances à la compression des briques testée.

Brique	Surface nette ($mm2$)	Force de rupture (N)	Rc (MPa)
B1	16620	558380	24.19
B2	14388	347750	15.07
B3	22470	129940	5.87

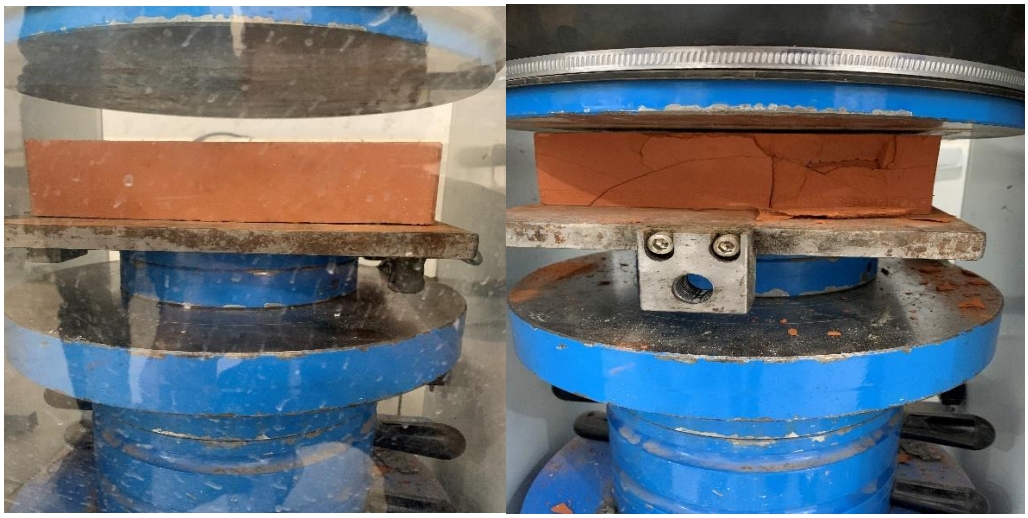


Figure 2.1: Presse universelle (photos prises par les auteurs).

2.2.2.2. Mortiers :

Dans ce travail, qui s'inscrit dans la continuité des travaux inities au laboratoire d''université.

Nous avons utilisé un seul type de mortier 1 ciment,1 chaux et 5 sables.

i. Composition de mortier utilisé :

Le mortier utilisé pour la construction des assemblages correspond au dosage 1 : 1 :5 respectivement Ciment : chaux : sable (mortier bâtard) avec un rapport E / L = 0.50 (voir Le tableau 2.3)

Tableau 2.3 la nature de mortier.

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

► Essais sur les mortiers (EN 196-1)

Des essais ont été réalisés sur les mortiers pour définir les résistances à la compression et à la traction (norme EN 196-1). 24 éprouvettes 4x4x16 cm^3 ont été confectionnés et soumises à L'essai de traction par flexion de trois points et à la compression. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 3.5 et sont le résultat de la moyenne de 24 échantillons.

► Équipement nécessaires pour l'essai :

Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (figure 3.2). Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les déplaçant horizontalement de 15 mm± 0,3mm à la fréquence d'un choc par seconde, pendant 60 secondes.

Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10 kN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s ± 10N/s et une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 kN.



a. Moule prismatique b. éprouvette

Figure 2.2 Moule prismatique et éprouvettes 4x4x16 cm de mortier.

► Conduite de l'essai :

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Le mortier préparé comme indiqué, on remplit les 3 compartiments du moule. Le serrage du mortier dans le moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches successives dans chaque compartiment et en appliquant 60 chocs. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle à la température ambiante ou dans une armoire humide.

Entre 20 et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau à 20° C ± 1° C jusqu'au moment de l'essai. Le jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 2 ou 7 jours et 28 jours.

1. Résistance à la flexion :

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure (3.3).

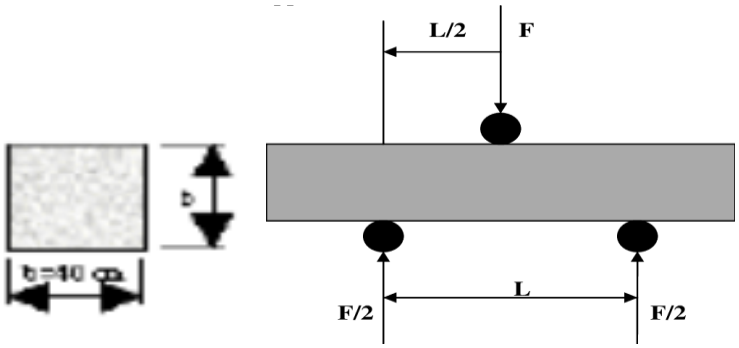


Figure 2.3 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (www.researchgate.net).

Si Y est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut F_f * l/4 et la résistance à la traction par flexion correspondante est écrite par l'expression (3.3).

$$R_f = \frac{F_f}{b^3} \text{.....(3.3)}$$

Compte tenu des dimensions normalisées de b et l, Si Ff est exprimée en (N), cette résistance sera exprimée en (MPa) par l'expression (3.4).

$$\mathbf{R_f = 0.234 N_f} \text{.....(3.4)}$$



Figure 2.4 : L'essai de résistance à la flexion

2. Résistance à la compression :

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure 3.6. Si FC est la charge de rupture, la résistance à la compression est décrite par l'expression (3.5).

$$R_f = \frac{F_c}{B^2} \text{.....(3.5)}$$

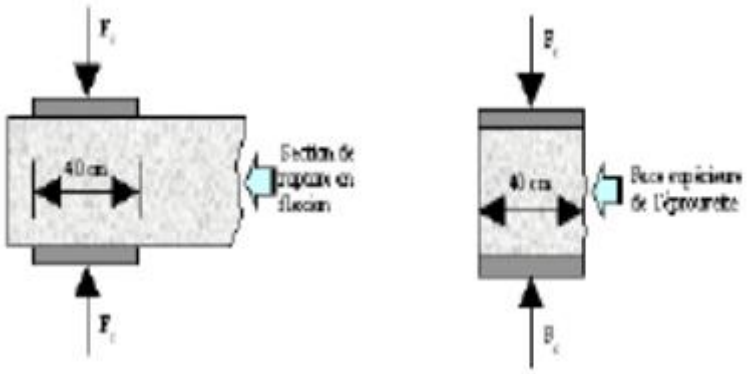


Figure 2.5 Dispositif pour l'essai de résistance à la compression. (BUI, 2013).

Si FC est exprimée en Newton, cette résistance exprimée en MPa, s'écrit :

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \text{.....(3.6)}$$

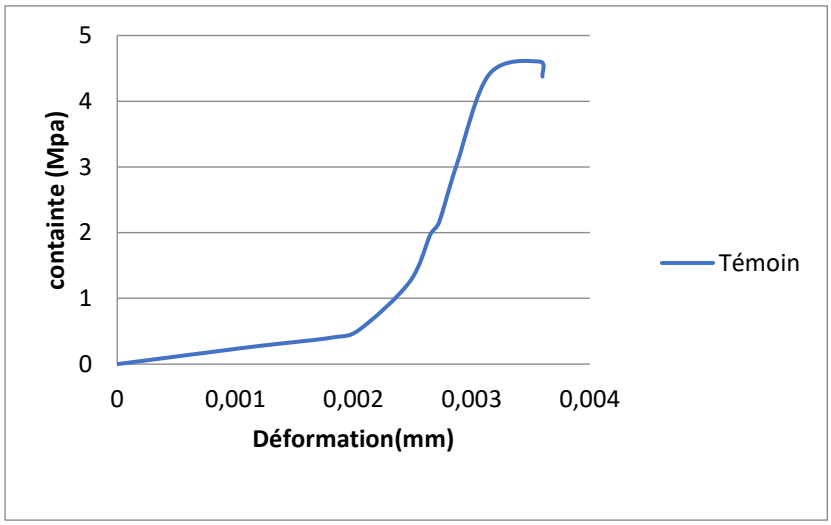




Figure 2.6: L'essai de résistance à la compression

Tableau 2.4 : caractéristique mécanique mortier

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

2.3 PROGRAMME DES ESSAIS SUR LES MURETS

FABRICATION DES SPÉCIMENS ET CONFECTION DES MURETS :

Dans ce travail, divers tests ont été effectués sur des spécimens en maçonnerie testés sous un chargement de compression Pour évaluer le comportement de la maçonnerie en brique en compression tel que la résistance à la compression.

2.1 Procédure de test :

Les briques :

Nous avons réalisé 12 murets avec différentes variations de géométrie et différents types de briques. Au total, 6 prismes et 6 murets ont été construits et testés pour une combinaison d'un seul mortier afin d'évaluer la résistance et le comportement à la compression de la maçonnerie pour les besoins de cette étude, confectionnés au laboratoire de résistance des matériaux de la faculté de Technologie de l'université de Yahya Farès Médéa, Algérie. Les dimensions des assemblages en maçonnerie sont données dans le tableau 3.1

On a confectionné deux types de prismes et trois types de murets pour chaque type de brique (figure 3.14).

Les essais de résistance à la compression sur le premier type de prisme en maçonnerie sont faits sur des assemblages formés de trois briques placés les unes par-dessus les autres avec

joint de mortier de 10 millimètres entre chaque paire de brique adjacentes. La fabrication des spécimens mis à l'essai selon la figure ….

Les essais de résistance à la compression sur le deuxième type de prisme en maçonnerie sont faits sur des assemblages formés de six briques placés les unes par-dessus les autres avec joint de mortier de 10 millimètres entre chaque paire de brique adjacentes. La fabrication des spécimens mis à l'essai selon la figure ….

Trois types de murets ont été construits pour chaque type de brique. Le premier type de murets ont une hauteur de 890mm, une largeur de 940mm et une épaisseur de 270mm et sont mis à l'essai sous chargement verticale (voir figure…).

Le deuxième type de murets ayant une hauteur de 890mm, une largeur de 940mm et une épaisseur de 270mm et sont mis à l'essai sous chargement verticale. Le troisième type de murets sont taillés à même ces deux murets et ont une hauteur de 625 mm, une largeur de 625 mm et une épaisseur de 270 mm Ces murets sont fabriqués avec les méthodes traditionnelles (voir figure …). Les objectifs des essais sont de déterminer la relation force-déplacement sous charges verticale.

Tableau 2.5 dimensions des assemblages en maçonnerie.

Type de brique	**Type d'échantillon**	**Epaisseur(mm)**	**Longueur × Largeur × Hauteur/ (mm)**
Brique 1	Muret MB1E1	10	450 x 105 x 380
	Muret MB1E2	10	450 x 220 x 380
	Prisme PB1E1	10	220 x 105 x 380
	Prisme PB1E2	10	220 x 105 x 185

Brique 2	Mur épaisseur 1	10	454 x 110 x 380
	Mur épaisseur 2	10	454 x 230 x 380
	Prisme épaisseur 1	10	222 x 110 x 380
	Prisme épaisseur 2	10	222 x 110 x 185
Brique 3	Mur épaisseur 1	10	438 x 105 x 380
	Mur épaisseur 2	10	438 x 220 x 380
	Prisme épaisseur 1	10	214 x 105 x 380
	Prisme épaisseur 2	10	214 x 105 x 185

2.3.1 Matériel utilisé :

Le matériel utilisé pour la confection des murets est le suivant (Figures 3.8 et 3.9) : truelles, auge, fil à plomb, mètre, niveau à, scie à béton et maillet.



Figure 2.7 : Outils utilisés pour l'auto-construction par les étudiants (photo prise par les auteurs).



Figure 2.8: Scie à Béton (photo prise par les auteurs).

2.3.2 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 pour éviter que le mortier ne grille pendant la réalisation de la maçonnerie,
2. 3. Etaler le mortier suivant l'épaisseur et ce à l'aide de différents gabarits fixant ainsi les dimensions du joint (figures 3.10),
3. Vérifier la planéité du mur avec la règle en bois et le fil à plomb, (figures 3.11),
4. 5. Les murets sont ensuite transportés et stockés après 7 jours pour toute la durée de la cure,
5. L'écrasement est effectué, après 28 jours de cure, aux conditions du laboratoire, Les mêmes opérations sont répétées, pour les tous les murs.



Figure 2.9 : Etalement du mortier (photos prise par les auteurs).



Figure 2.10 : Vérification de la planéité à l'aide du niveau à bulle (photos prise par les auteurs).

2.4.3 Cure et stockage des murs :



Figure 2.11 : Cure et stockage des murs (photos prise par les auteurs).

2.4 DISPOSITIF D'ESSAI :

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

- ✓ Un vérin de 200 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

2.4.1 Principe de l'essai :

Les efforts sont transmis aux corps d'épreuve à l'aide de barres de transmissions rigides (Figure 3.13). Des plaquettes d'appui, assurent une meilleure distribution des efforts sans aucune excentricité. La mesure de la 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.

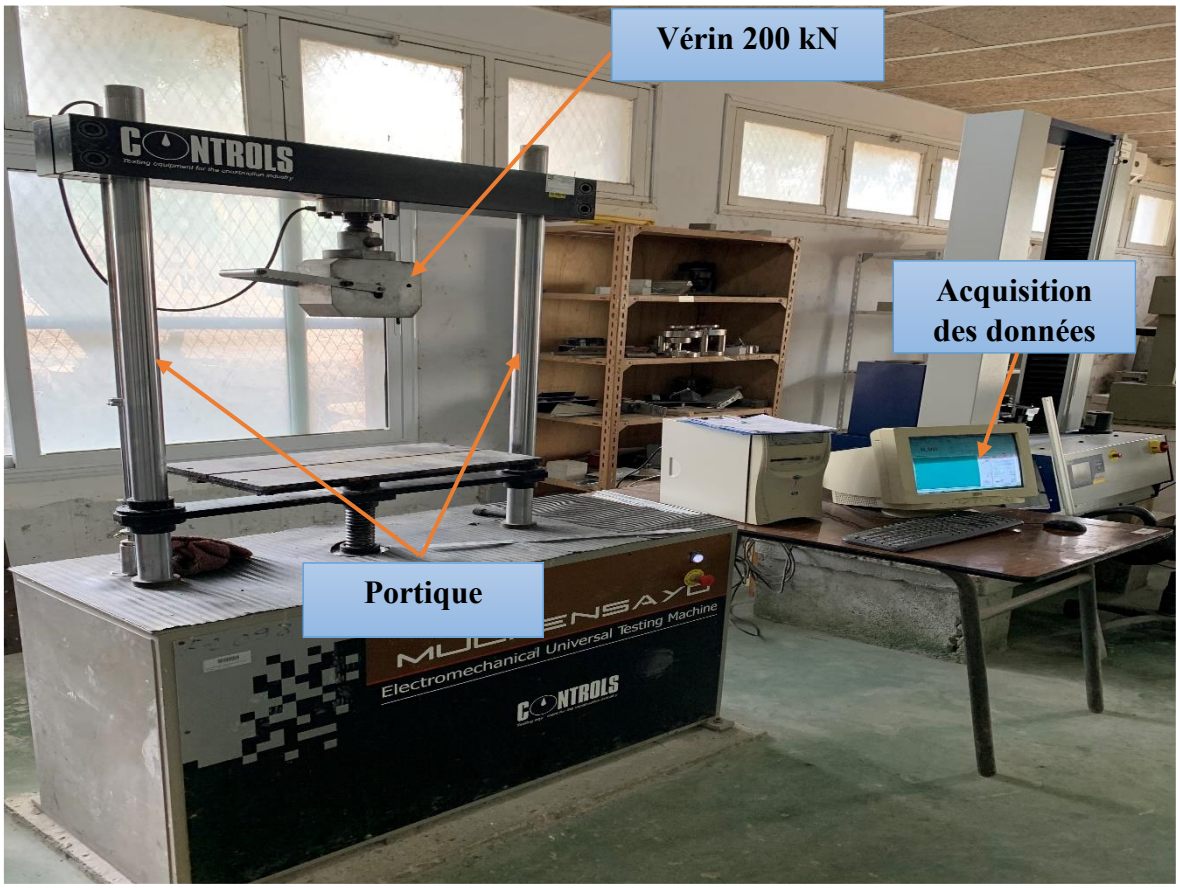


Figure 2.12 : L'ensemble du dispositif d'essai (photos prise par les auteurs).

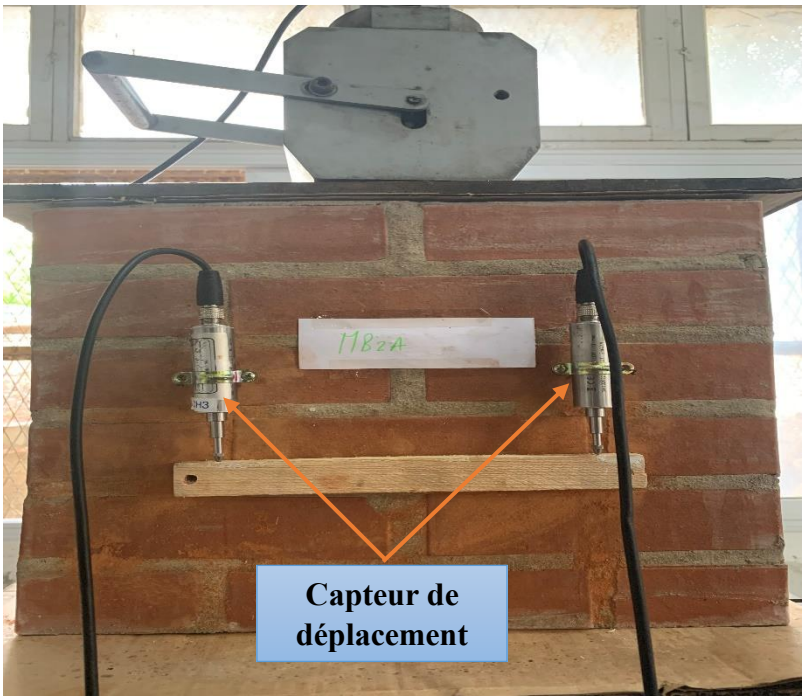


Figure 2.13 : Muret sous charge de compression (photos prise par les auteurs).

2.5 CONCLUSION :

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

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

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des différents essais réalisés sur les prismes et les murets en brique perforée sous sollicitations de compression. Nous concentrée sur l'examen expérimental des caractéristiques de résistance et de déformation des prismes et des murets de maçonnerie sous compression en utilisant les mêmes matériaux. Aussi, une comparaison entre les Contraintes de compression, et nous décrirons les différents modes de rupture observées pour la compression.

3.1 RESISTANCE DES MURETS TESTES :

3.1.1 Resistance des murets sous sollicitations de compression :

Nous présentons dans le tableau 4.2 les résultats respectifs des contraintes de compression.

Les forces de ruptures et les dimensions des murets testes sont présentes en Annexe 1.

Pour le calcul de la résistance à la compression, on a utilisé la formule de EC6 (3.1).

$$R_c = \frac{F_c}{b.e} \qquad \text{..... (3.1)}$$

Où :

R_c : Résistance à la compression (MPa)

F_c : force exercée par le vérin (N)

b : largeur du mur.

Tableau 3.1 Résultats de résistance à la compression des tests. (Les murets).

Type De murets		
	Rc (MPa)	ΔL (mm)
MB1E1	2.029	0,54

MB2E1	1,959	9,57
MB3E1	1,832	6,69
MB1E2	1,51	-----
MB2E2	1,91	-----
MB3E2	2,07	-----

Tableau 3.2 Résultats de résistance à la compression des tests. (Les prismes).

Type De prisme		
	Rc (MPa)	ΔL (mm)
PB1 type1	4,184	7,95
PB2 type1	3,289	7,95
PB3 type1	2,285	5,45
PB1 type2	3,684	8.08
PB2 type2	2,102	5,81
PB3 type2	2,777	5.56

3.1.2 Modes de ruptures :

Le mode de rupture que nous avons observé sur ces murets a été caractérisé par le développement de fissures de tension parallèles à l'axe de chargement ; ils ont apparu en partie

centrale, plus ou moins sur la ligne médiane du prisme, et se sont propagés aux unités inférieures (voir figure 4.1). Ce type de rupture a été également rapporté par d'autres chercheurs [1]. De plus, dans certain cas du murets la rupture se fait par écrasement de brique et par glissement dans les joints horizontaux et/ou verticaux ; ou par un mécanisme combinant à la fois la rupture de la brique et du mortier (voir figure 4.2 et 4.5). Aussi nous avons observé dans le cas de prismes la rupture se fait plutôt par un mécanisme combinant la rupture du joint et l'ouverture latérale (voir figure 4.10).

Ceci expliquerait deux caractéristiques de la rupture de la maçonnerie en compression :

- La rupture s'initie par fissuration verticale ou par écrasement des briques.
- Les contraintes de compression à la rupture excèdent la résistance en compression uni-axiale du mortier.
- La rupture se fait plutôt par un mécanisme combinant la rupture du joint et l'ouverture latérale. Les propriétés du mortier et la qualité de l'interface brique/mortier joueraient donc un rôle dans ce cas.

Les murets :



Figure 3.1: rupture muret (MB1E1).



Figure 3.2: rupture muret (MB1E2).

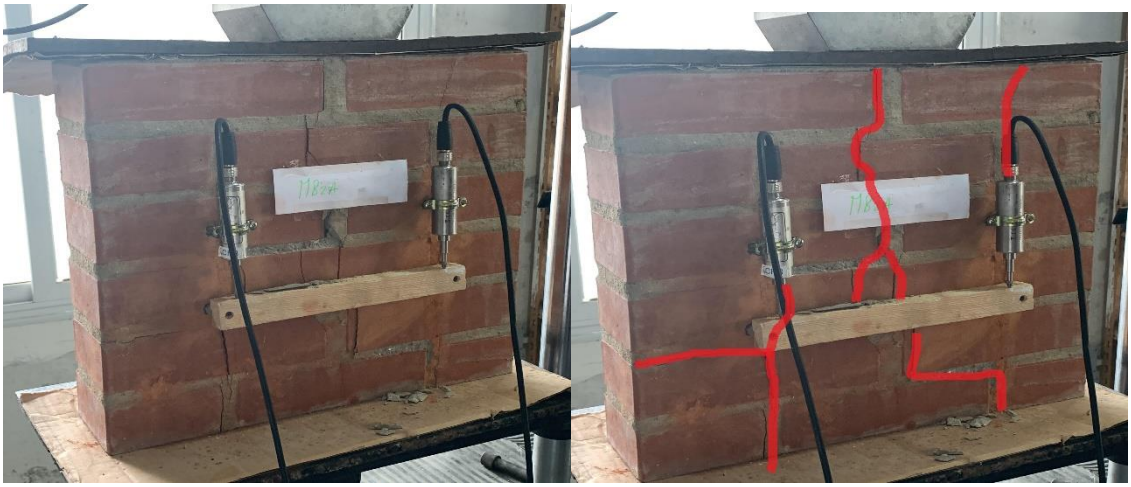


Figure 3.3: rupture muret (MB2E1).

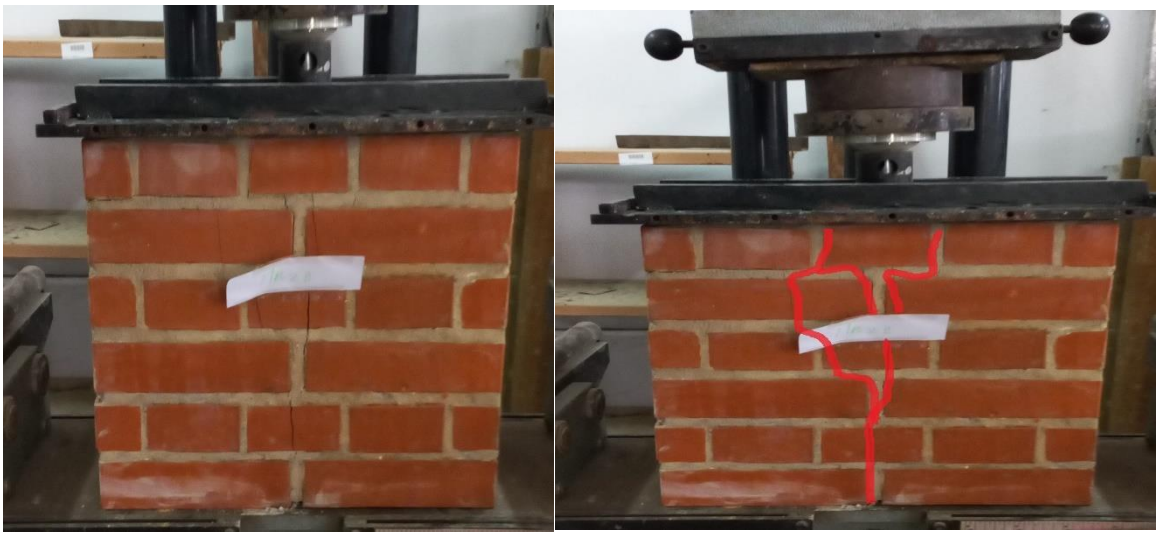


Figure 3.4: rupture muret (MB2E2).



Figure 3.5: rupture muret (MB3E1).



Figure 3.6: rupture muret (MB3E2).

Les prismes :



Figure 3.7: rupture prisme (PB1E1).



Figure 3.8: rupture prisme (PB1E2).

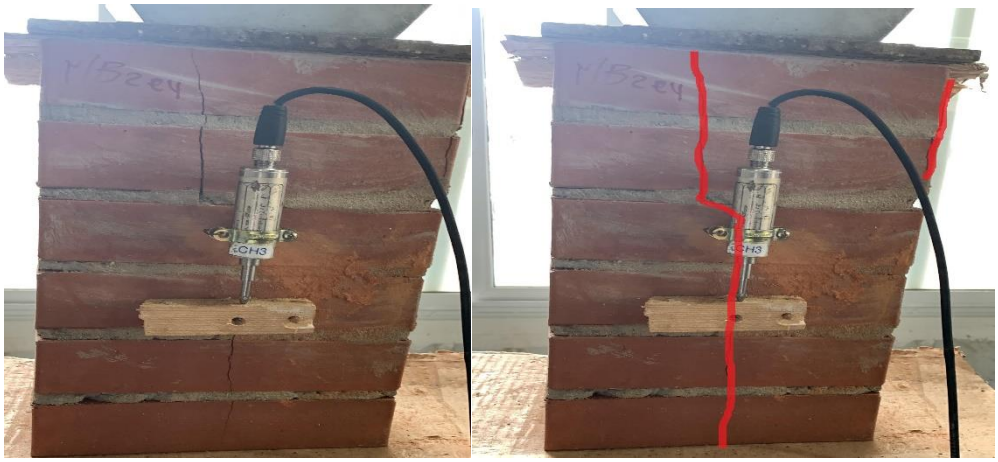


Figure 3.9: rupture prisme (PB2E1).



Figure 3.10: rupture prisme (PB2E2).



Figure 3.11: rupture prisme (PB3E1).

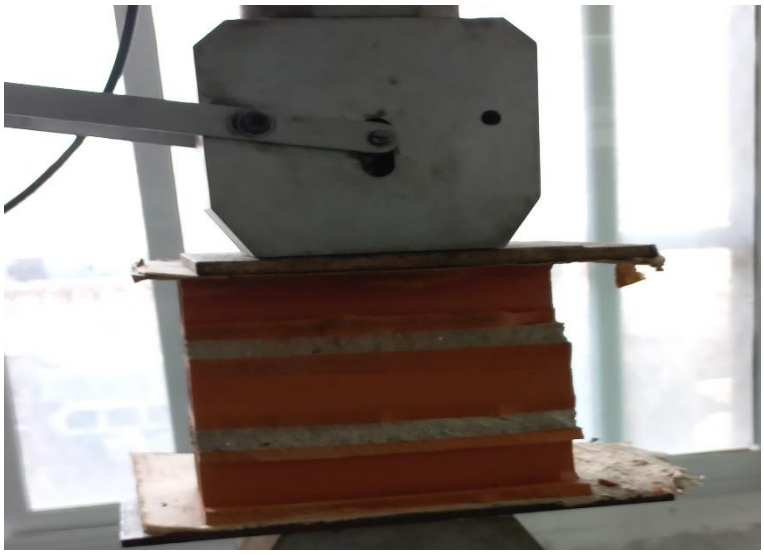


Figure 3.12: rupture prisme (PB3E2).

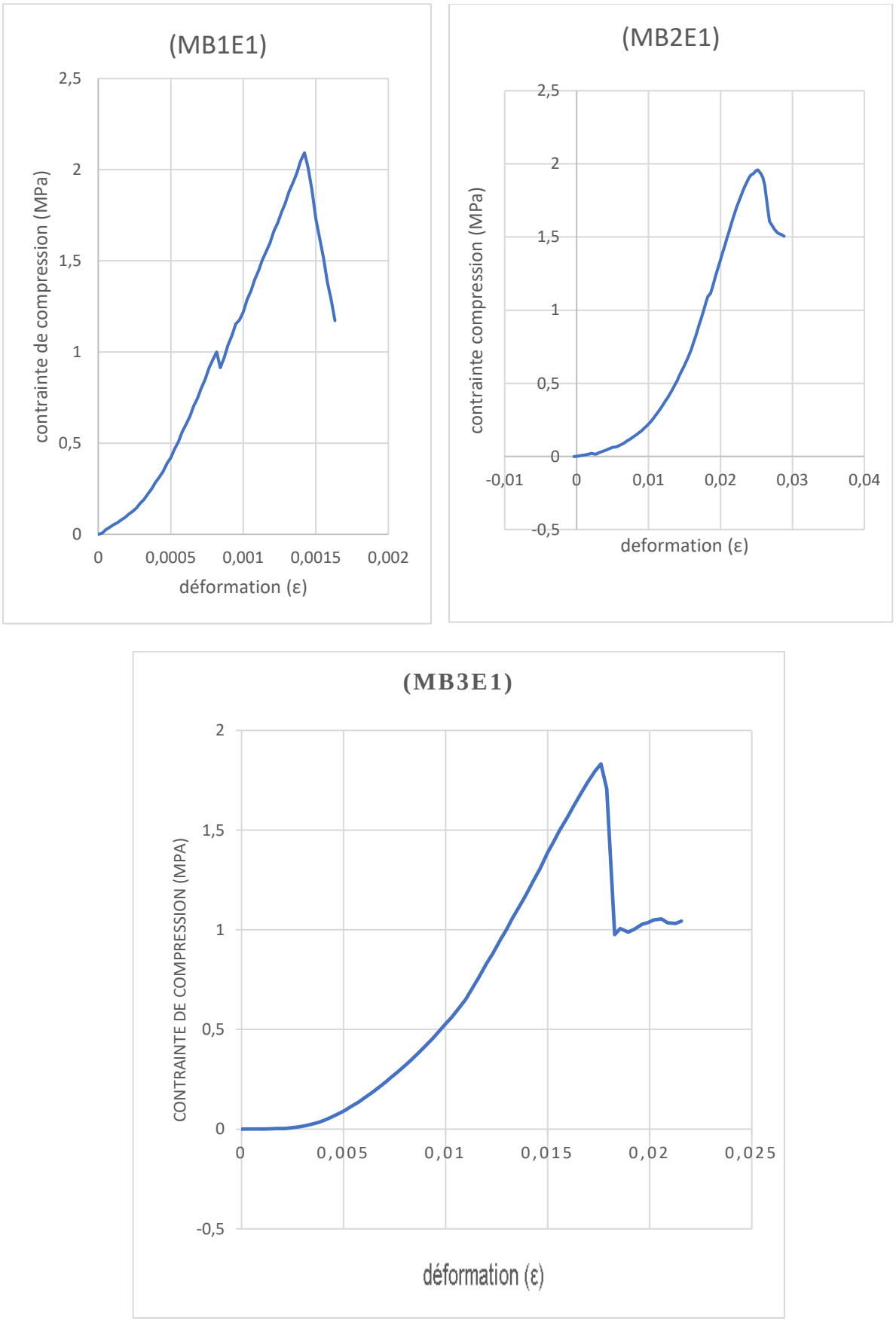


Figure 3.13 : graphes mode de rupture murets.

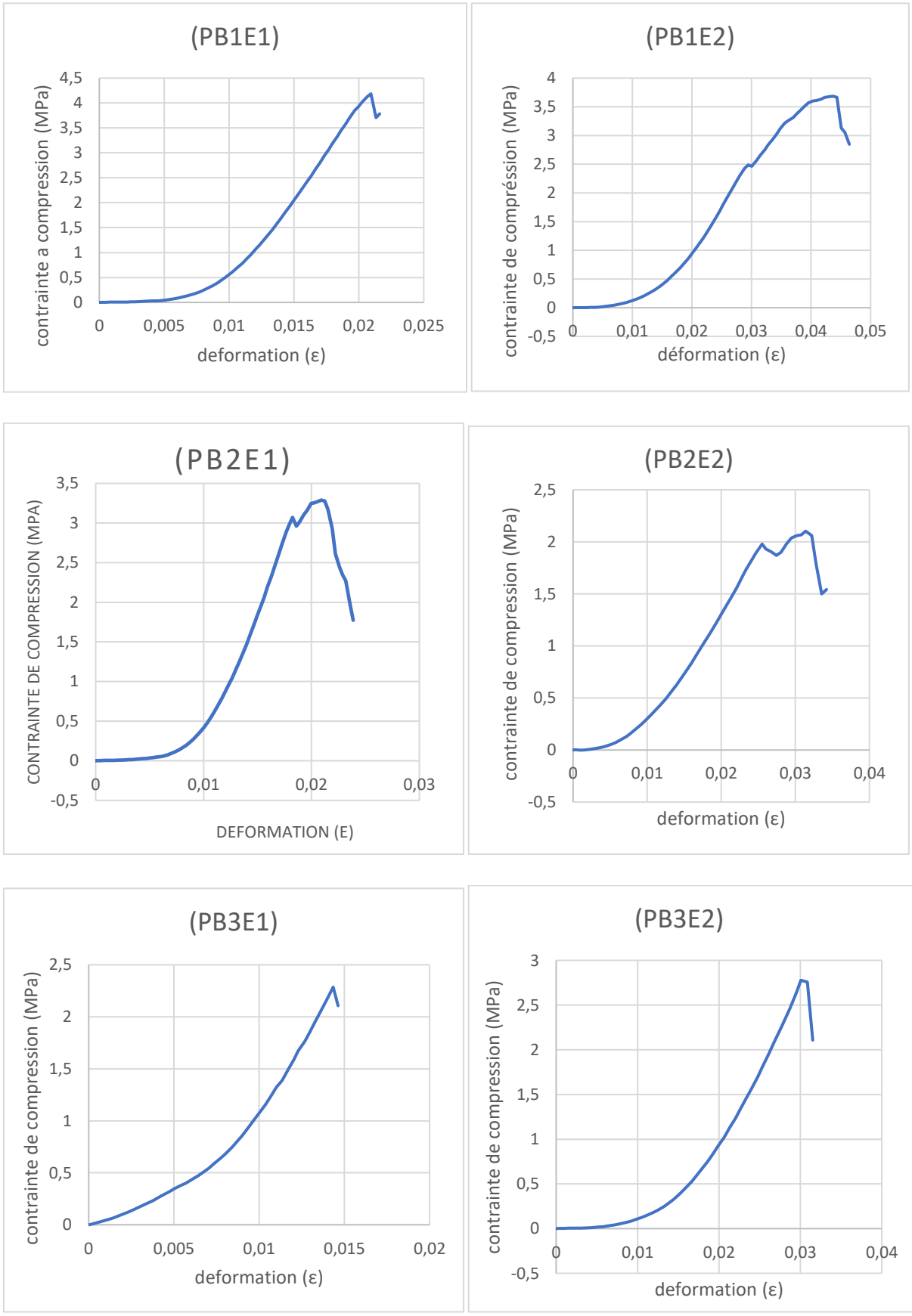


Figure 3.14: graphes mode de rupture prismes.

3.1.3 corrélations des murets avec les prismes :

On a un tableau :

Tableau 3.3 Propriétés de déformation des éprouvettes testées.

Type de brique	Les murets et les prismes	Module de Young (MPa)	Déformation (ε)	Contrainte maximale (MPa)
BRIQUE 1	**Prisme type 1**	199,206	0,021	4,185
	Muret E1	126,589	0,0173	2,139
	Prisme type 2	84,351	0,0437	3,684
	Muret E2	----	**----**	1,51
BRIQUE 2	**Prisme type 1**	156,507	0,021	3,289
	Muret E1	80	0,025	2,003
	Prisme type 2	67,741	0,031	2,103
	Muret E2	----	----	1,91
BRIQUE 3	**Prisme type 1**	163,095	0,014	2,286
	Muret E1	104,074	0,018	1,874
	Prisme type 2	198,333	0,014	2,778
	Muret E2	----	----	2,07

D'âpres les résultats obtenus dans ce tableau nous avons remarqué que la résistance a la compression de prismes est supérieure par rapport les murets.

Et aussi on a vu quand il y'a un changement de surface de section des murets il provoque un changement dans la résistance a la compression tel qu'il est grand la résistance se démène et quand le surface est petit la résistance est augmenté.

Dernièrement on a conclu que le brique est un élément aide la résistance des murets et des prismes selon sa qualité et ça contrainte, et dans ce cas BRIQUE 1 est classe le premier par rapport les autres d'après les résultats de contrainte maximale.

3.2 ESSAI DE COMPRESSION

La résistance à la compression des murs maçonnés est déterminée en appliquant la formule tirée de l'Eurocode 6 ou en testant les murs.

Calcul de la contrainte par l'Eurocode 6

$$\boldsymbol{f_k = K.f_b^{0.25}.f_m^{0.65}} \qquad (\mathbf{3.2})$$

Où

f_k: Résistance à la compression caractéristique de la maçonnerie, en N/mm2.

K, α et β : Constantes déterminées en fonction de la maçonnerie du mortier utilisés, tirés de la NBN EN 1996-1-1 ANB. Dans notre cas K=0.45, α=0.65, β=0.25

f_b: Résistance à la compression moyenne normalisée des blocs de maçonnerie en béton, en MPa.

$$f_{b1} = 33.59\ (MPa)\ ,\ f_{b2} = 24.16\ (MPa) \text{ et } f_{b3} = 5.78\ (MPa).$$

f_m: Résistance à la compression du mortier, en MPa. (fm=4.6 MPa).

La contrainte de compression expérimentale :

Nous avons calculé la contrainte de compression par la formule suivante :

$$\boldsymbol{\delta = \frac{f}{s}} \qquad (\mathbf{3.3})$$

Où

F : force exercée par le vérin (N).

S : Surface exposée à la compression $(mm2)$.

Tableau 3.4 valeurs de la contrainte à la compression.

Type de brique		LES MURETS ET LES PRSMES	δ(MPa)	Taux de Variation (%)
BRIQUE 1	**Expérimentale**	**Prisme type 1**	4,185	43%
		Prisme type 2	3,684	26%
		Muret E1	2,139	36%
		Muret E2	1,51	92%
	Eurocode 6	**----**	2.91	
BRIQUE 2	**Expérimentale**	**Prisme type 1**	3,289	22%
		Prisme type 2	2,103	27%
		Muret E1	2,003	34%
		Muret E2	1,91	40%
	Eurocode 6	**----**	2.69	
BRIQUE 3	**Expérimentale**	**Prisme type 1**	2,286	21%
		Prisme type 2	2,778	47%
		Muret E1	1,874	0.3%
		Muret E2	2,07	10%
	Eurocode 6	**----**	1.88	

Dans ce tableau dans les résultats expérimental on a la résistance à la compression des prismes de type 1 dans les deux model de brique (BRIQUE 1, BRIQUE 2) est toujours grand par rapport les prismes de type 2, seulement dans le BRIQUE 3 le type de prisme 2 est grand que le type 1.

Aussi La résistance à la compression des murets de E1 dans les deux model de brique (BRIQUE 1, BRIQUE 2) est toujours grand par rapport les prismes de E 2, seulement dans le BRIQUE 3 le muret E2 est supérieure par rapport le muret E2.

D'âpres les études de la résistance à la compression des trois types de brique (BRIQUE 1, BRIQUE2, BRIQUE 3) on na conclue que les bons résultats de contrainte des prismes et murets se trouve dans le BRIQUE 1.

Tableau 3.5 Relation entre les contraintes à la compression des prismes et des murets.

Type de brique		LES MURETS ET LES PRSMES	$K = \frac{fm\ (muret)}{fm(prisme)}$
BRIQUE 1	**Expérimentale**	**Prisme type 1**	0.511
		Muret E1	
		Prisme type 2	0.410
		Muret E2	
BRIQUE 2	**Expérimentale**	**Prisme type 1**	0.459
		Muret E1	
		Prisme type 2	0.608
		Muret E2	
BRIQUE 3	**Expérimentale**	**Prisme type 1**	0.91
		Muret E1	
		Prisme type 2	0.820
		Muret E2	

Dans ce tableau on a remarqué que ***k*** dans le BRIQUE 1 le cas de prisme type 1 sur le muret E1 est augmenté par rapport les cas de prisme type 2 sur muret E2.

Aussi dans le cas de BRIQUE 3 on a remarqué même les résultats de BRIQUE 2

Seulement dans le cas de BRIQUE 2 on a remarqué que ***k*** de prisme type 1 sur le muret E1 est diminué par rapport le cas de prisme type 2 sur muret E2.

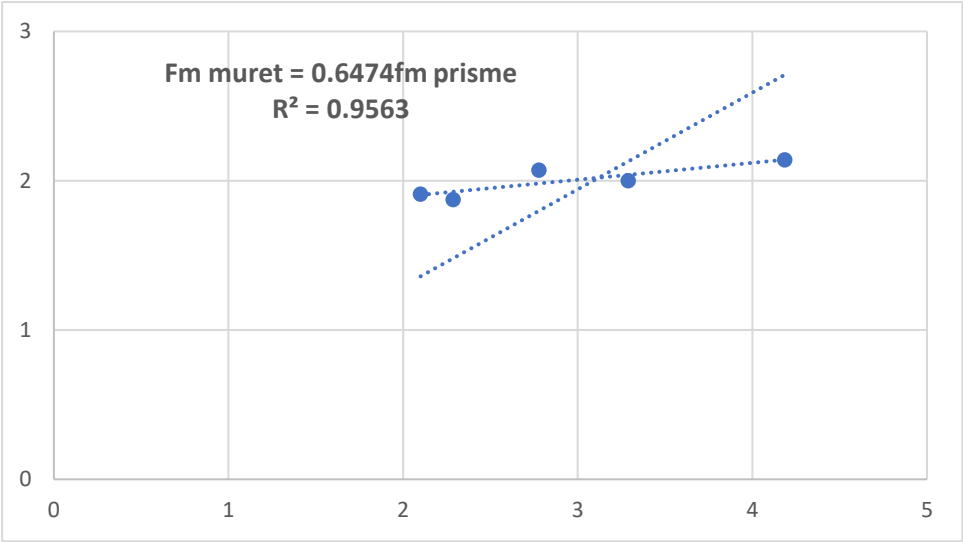


Figure 4.16 Relation entre les contraintes à la compression des prismes et des murets.

Conclusion :

L'étude expérimentale sur les murets tests s'est avéré un moyen efficace pour l'étude du comportement de la maçonnerie. Nous avons constaté que la résistance à la compression de la maçonnerie est très faible vis-à-vis de la résistance nominale de compression des briques (fournie par les essais standards). Par contre la résistance à la compression de la maçonnerie peut être plus importante que la résistance nominale du mortier. Il est important de noter que la maçonnerie chargée uniformément atteint le domaine de la rupture par le développement des fissures parallèles à la direction de chargement qui sont dues aux contraintes de traction, dont la direction est perpendiculaire à celle des contrariantes de compression. De plus, les résultats obtenus montrent que les courbes contrainte déplacement des murets se trouvent souvent en-dessous des courbes trouvées pour les prismes. Autrement dit, les murets est moins résistant que l'élément prisme. Aussi, l'épaisseur du spécimen influe considérablement sur la résistance à la compression. En concordance avec la littérature, nous avons observé les mêmes modes de rupture.

CONCLUSION GENERALE

La plupart des bâtiments en Algérie sont réalisés en portique poteau-poutre avec des murs en maçonnerie de remplissage. Lors de la justification des efforts sismiques, la contribution des panneaux en maçonnerie n'est pas prise en considération. Or, leur influence sur la rigidité et la résistance de l'ossature du bâtiment n'est pas négligeable.

Ce travail de fin d'études a eu pour objectif de l'étude expérimentale des prismes et des murets de maçonnerie sous compression uni axiale. Au total, 6 prismes et 9 murets ont été testés avec trois type de brique différentes et un seul type de mortier pour examiner la résistance et le comportement à la compression. Les conclusions suivantes peuvent être tirées des données expérimentales recueillies dans cette recherche :

• La relation empirique développée par l'analyse de régression linéaire suggère que la résistance à la compression du prisme est d'environ 25 % supérieure à la résistance des murets. Cependant, compte tenu du facteur de caractéristiques, la résistance à la compression des murets peut être supposée de manière conservatrice égale à 0.956 fois la résistance du prisme.

• Des formulations similaires à l'EN 19961-1 [18] sont proposées pour prédire la résistance à la compression des prismes et des murets de maçonnerie à partir de la littérature et des données expérimentales recueillies dans le cadre de la recherche.

• Des relations pour prédire le module d'élasticité des prismes et des murets à partir de leur résistance à la compression sont proposées.

• Un modèle analytique contrainte-déformation simple comprenant une fonction de polynômes du second ordre pour la partie ascendante et un modèle linéaire pour la partie descendante du prisme de maçonnerie et des murets sous compression est proposé. Le modèle proposé ne nécessite que les résistances à la compression de l'unité et du mortier pour développer complètement les courbes contrainte-déformation.

La relation entre les résistances du muret et du prisme fournies dans cette étude peut être utilisée pour convertir la résistance du prisme en résistance équivalente du muret et incorporée dans la conception de murs porteurs réels en utilisant les normes de conception. Une telle conversion est uniquement limitée aux maçonneries en briques, car cette recherche n'a pas pris en compte la maçonnerie en pierre.

REFERRENCES

REFERRENCES :

BAUD : « La construction du bâtiment : Maçonnerie et béton armé », Edition Dunod, 1990.

Carter et Stafford: "Structural behavior of masonry structural in filled Frames subjected to racking loads", International conference on Masonry structural Systems, College of Engineering, University of Texas, Austin, USA, May, 1969, pp. 226-233.

(CHERRABI.A, 1.).

DESTRAC et coll. : "Memo Technique en Génie Civil", Editions Castilla, 2003.

DRYSDALE R., ESSAWY A., "Out-of-Plane Bending of Concrete Block Walls", J. Struct. Eng., 114(1), 1988, 121–133.

DTR.C2-45 : « Règles de conception et de calcul des maçonneries », Document Technique Réglementaire, CNERIB, Alger, (1997) ,62 p.

DTU : « Parois et murs en maçonnerie de petits éléments », N°20.1, cahiers des clauses techniques, CSTB, Paris, France, septembre, (1985).

EUROCODE6: « Design of masonry structures », Part 1-1: Rules for reinforced and unreinforced masonry, (2009) ,51p.

GAZZOLAE.A., DRYSDALE R.G., ESSAWY A.S., "Bending of concrete masonry Walls at different angles to the bed joint", Proc. 3rd North. Amer. Mas. Conf., Arlington, TX, USA, Paper 27, 1985.

GAZZOLA E.A., DRYSDALE R.G., "A component failure criterions for blockwork in flexure", Proc., Structures ASCE, S.C. Anand, éd., New Orléans, 1986, 134-153, 1986.

GERTIN, : Comportement sismique d'un mur en maçonnerie armée entièrement rempli de coulis, Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées, 2014, Université Sherbrooke (Québec), Canada, 149 p.

(HABER R.A., SMITH P.A., «Overview of Traditional Ceramics», New Brunswick, New Jersey, Ceramic Casting Program, Rutgers, State University of New Jersey, USA, 1987.

HOUTI, F.B., « Comportement des structures en Maçonnerie sous sollicitation uni axiale », Mémoire de Magister, 2002, Université Abou BEKR BELKAÏD, Tlemcen, Algérie, 93 p.

KIRTSCHIG.K., KASTEN.D., « Partial surface load of masonry », Proceedings of the Fifth International Brick Masonry Conference, Washington, USA, 1979.

MARCEL H., NICOLAS J., ET COLL., « Dimensionner les ouvrages en maçonnerie »,

Guide d'application, Vol. 3, 12 p., 2009.

MEZIGHECHE.N., « Comportement des remplissages dans les structures sous différentes sollicitations : cas de la maçonnerie », Mémoire de Magister, 2010, Université ABOUBADJI Mokhtar, Annaba, Algérie, 174 p.

PAGE A.W., HENDRY A.W., « Design rules for concentrated loads on masonry », Structural Engineer, 66 p, 1987.

PAGE A.W., ALI S., « Non linear finite element analyses of masonry », Proc. Inst. Civil Eng., Vol.83, 1987.

PLUIJM Vd., Material properties of masonry and its components under tension and shear. In: V.V. Nais S, Saskatchewan, editor. Proc 6th Canadian masonry symposium, p. 67586, Canada (1997).

PLUIJM Vd., Shear behavior of bed joints. In: Harris AAHAHG, editor. Proc 6thNorth American Masonry Conf. Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, p. 12536, USA (1999).

WIELAND R., «Design of Masonry Structures According Eurocode 6», Technical University of Kaiserslautern, 136 p, 1996.