

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN**



Mémoire

**Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Civil**

Option : Ingénierie des structures

Thème

**ETUDE DES MURS EN MACONNERIE CONFINE  
SOUS SOLLICITATION UNIAXIALE**

Présentée par :

**BOUKHORS NESMA**

Soutenu en juin 2015 devant le Jury composé de :

Mr <b>A.BEZZAR</b>	MCA	Président
Mr <b>F. GHOMARI</b>	Professeur	Encadreur
Mr <b>F.B HOUTI</b>	MAA	Co-Encadreur
Melle <b>L. SAIL</b>	MCA	Examineur
Mr <b>O.TALEB</b>	MAA	Examineur

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2014 – 2015**

# REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu Allah tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté de pouvoir accomplir ce travail.

Je remercie vivement la faculté de technologie pour les moyens qu'il a mis à notre disposition pour pouvoir réaliser ce travail.

Mes profonds remerciements sont adressés au Le professeur **GHOMARI FOUAD**, pour m'avoir accepté dans son équipe je le remercie pour ses conseils et pour les moyens qu'il a mis à ma disposition pour finaliser la rédaction de ce mémoire.

Mes remerciements, sont adressés à mon directeur du mémoire, monsieur **HOUTI FARID BRAHIM**, pour son encadrement, pour sa disponibilité et sa patience durant la réalisation du travail

Je tiens à exprimer mes chaleureux remerciements au professeur **BEZZAR ABDEL ILLAH**, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire, je le remercie pour son encouragement et ses conseils motivants, je suis également honoré par sa présence parmi le jury.

J'adresss par ailleurs mes sincères remerciements à monsieur **TALEB OMAR** et mademoiselle **SAIL LATEFA**, qui ma honoré d'avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail, je la remercie également pour avoir accepté de l'examiner.

.Mes sincères remerciements et ma profonds gratitudes sont exprimés pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, particulièrement, monsieur **MUSTAPHA** (ingénieur du laboratoire pédagogique du département de génie civil)

Enfin, j'aimerai remercier mes parents, famille et amis pour leur soutien durant ces 5 années d'études, à la fois moral et financier, ainsi que pour tous les bons moments passés en leur compagnie.

*A tous, de tout cœur, un grand MERCI*

# DEDICACES

*Ce mémoire est dédié*

*A mon chère père*

*A tous mes proches, particulièrement, ma  
chère mère, mes frères et mes sœurs*

*A tous mes amis (Yassine, Zakariya, Amel,  
D.Y.Mohammed, H.Zakarya, , Zoheir, B.Mohammed )*

*Mes collègues et à toute*

*Personne ayant collaboré à ce travail*

*A tous ceux qui me connaissent*

# RESUME

Diverses études sur le comportement des structures en maçonnerie porteuse à l'état ultime ont été réalisées de par le monde. Dans notre pays, ce mode de construction a été très utilisé avant l'avènement du béton, cependant il est complètement marginalisé de nos jours.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à l'étude expérimentale de panneaux de maçonnerie en briques creuses de terre cuite hourdées au mortier bâtard testés sous chargement uniaxial confiné jusqu'à la rupture, et aussi, nous avons varié l'épaisseur du joint (0.5, 1.0 et 1.5 cm) et la nature du sable. Nous tentons de montrer l'influence de l'ensemble de ces paramètres sur le comportement des structures en maçonnerie étudiées.

**Les mots clés :** confinement, maçonnerie, joint, compression (solicitation uniaxiale) , rupture, brique de terre cuite,

## ملخص

أجريت دراسات مختلفة على سلوك هياكل تحمل البناء في الدولة في نهاية المطاف في جميع أنحاء العالم. في بلدنا، وهذا النوع من البناء وقد استخدم على نطاق واسع قبل مجيء ملموسة، لكنها مهمشة تماما اليوم.

في إطار هذا العمل ركزنا على دراسة تجريبية للعوارض البنائية التربة الطينية الحمراء مع خليط الخرسانة المخلطة المجرية تحت ضغط وحيد المحور إلى غاية الانهيار، وأيضا قمنا بتغيير سمك الوصلة (0.5، 1.0 و 1.5 سم) وطبيعة الرمال. ونحن نحاول أن تظهر تأثير كل هذه المعايير على سلوك هياكل البناء التي تمت دراستها.

كلمات البحث: الاحتواء، البناء، وصلة، ضغط، الانهيار، الأجر المثقب،

# ABSTRACT

Various studies on the behavior of structures bearing masonry in the ultimate state were conducted worldwide. In our country, this type of construction has been widely used before the advent of concrete, but it is completely marginalized today.

As part of this work, we focus on the experimental study of hollow brick masonry panels hourdées clay mortar bastard tested under uniaxial loading confined to rupture, and also, we varied the thickness of joint (0.5, 1.0 and 1.5 cm) and the nature of the sand.

We try to show the influence of all these parameters on the behavior of masonry structures studied.

**Keywords:** containment, masonry, seal, compression, rupture, terracotta brick,

# SOMMAIRE

Remerciements	
Resume	
Nomenclature	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

<b>Introduction générale</b> .....	01
------------------------------------	----

## **Chapitre 1 : généralités sur la maçonnerie**

1.1 Introduction.....	02
1. 2 Historique des maçonneries .....	02
1.3 Définition.....	02
1.4 La maçonnerie confinée.....	03
1.5 Propriété de la maçonnerie .....	03
1.6 Les différents types de la maçonnerie.....	04
1.6.1 Maçonnerie de pierre de taille .....	04
1.6.2 Maçonnerie de moellon.....	04
1.6.3 Maçonnerie en agglomérée de béton.....	04
1.6.4 Maçonnerie en brique d'argile cuite .....	04
1.6.5 Maçonnerie composite mixte.....	05
1.7 le mortier .....	06
1.7.1 Définition de mortier.....	06
1.7.2 les joints .....	06
1.8 Pathologies courantes sur les ouvrages en maçonnerie... ..	07
1.8.1 Présence d'eau.....	07
1.8.2 Altération des joints entre blocs.....	07
1.9 Conclusion.....	07

## **Chapitre 2 : les comportements de la maçonnerie**

2.1 Introduction.....	08
2.2 Le Comportement de la maçonnerie de diverses sollicitations.....	08
2.2.2 Le comportement de la maçonnerie en flexion.....	09
2.3.3 Le comportement de la maçonnerie en traction.....	10
2.3.4 Le Comportement de la maçonnerie en cisaillement.....	12
2.2.1 Le Comportement de la maçonnerie en compression .....	12
2.3.1 Compression de maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers .....	12
2.3.2 Compression de maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers .....	14

2.4 Les travaux sur les briques.....	15
2.5 Les études expérimentales concernant un chargement.....	16
2.5.1 Travaux de PAGE .....	16
2.5.1 Travaux de SHANN .....	17
2.6 Les travaux réalisés au niveau de l'université de Tlemcen.....	17
2.6.1 Travaux de HOUTI et col 2002.....	17
2.6.2 Travaux Meziane (2004).....	18
2.6.4 Travaux BENNECEUR ET BOUAKKAZ (2007).....	18
2.7 Les formules empiriques pour le calcul de la résistance à la compression.....	18
2.7.1 EUROCODE6.....	18
2.7.2 Les formule Hendry et Malek.....	19
2.7.3 Les formules de Rostampour et Mann .....	19
2.7.4 La formule de CNERIB .....	19
2.8 Conclusion .....	19

### **Chapitre 3 : Etude expérimentale**

3.1 Introduction.....	20
3.2 Identification des choix des matériaux .....	20
3.2.1 Les briques.....	20
3.2.2 Le sable.....	24
3.2.3 Le ciment .....	25
3.2.4 La chaux .....	26
3.2.5Eau de gâchage .....	26
.3 Confection du mortier .....	26
.3.1 Composition du mortier utilisé.....	26
3.3.3Procédures d'essai.....	27
3.3.4 Détermination la consistence normale.....	27
3.3.5Les caractéristiques mécaniques du mortier.....	28
3.4 Confection du muret .....	29
3.4.1Matériel utilisé.....	30
3.4.2 Planning de confection du muret .....	31
3.4.3 Méthodologie de la confection des murets.....	31
3.6 Conclusion.....	34

### **Chapitre 4 : Discussion et interprétation des résultats**

4.1 Introduction.....	35
4.2 Résistance à la compression des murets .....	35
4.3 Influence de l'épaisseur du joint.....	36
4.4 Influence de la nature de mortier .....	37
4.5 Le mode de rupture .....	38
4.6 Comparaison avec les formules empiriques .....	40
4.7 Conclusion.....	41
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>42</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>43</b>

## **NOMENCLATURE**

$f_m$	résistance de mortier
$f_b$	la résistance du bloc
K	Coefficient selon le type de la maçonnerie
$\rho_{app}$	masse volumique apparente
M	masse d'élément en maçonnerie
$V_{net}$	volume net des éléments en maçonnerie
F	Charge maximale de rupture
$S_n$	Section nette de la brique
$\sigma_b$	Résistance à la compression de la brique
C	Coefficient d'absorption
m2	La masse de la brique humide
m1	La masse de la brique séché
S	Surface horizontale de la brique
t	Temps d'immersion
$M_f$	Module de finesse
$Mv_{abs}$	Masse volumique absolue
$Mv_{app}$	Masse volumique apparente
ES	Equivalent sable
b	Largeur d'éprouvette du mortier
L	Longueur d'éprouvette du mortier
$R_f$	Résistance de mortier en flexion
h	Hauteur de mur
H	Largeur de mur
L	Longueur de mur
$\theta$	Orientation du joint
$f_M$	Résistance de la maçonnerie
MN	Mortier naturel
MC	Mortier corrigé
S	Sable
C	Ciment

# Listes des figures

## Le chapitre 1

- Figure 1.1 Maçonnerie de pierres sèches [Laboratoire Régional de l'Équipement de Saint-Brieuc (LRSB), 1994] (page03)
- Figure 1.2 Exemple de pose des éléments d'une maçonnerie. (page03)
- Figure 1.3 Les types d'agencement de la maçonnerie (page04)
- Figure 1.4 Maçonnerie mixte de granit et roches métamorphiques [manuel de sensibilisation maçonnerie, 2006] (page05)
- Figure 1.5 Disjoints profonds et dislocation d'ouvrages en maçonnerie (page07)

## Le chapitre2

- Figure 2.1 les forces agissant sur les murs (page 08)
- Figure 2.2 propagation de l'effort dans les murs (page 09)
- Figure 2.3 l'effort parallèle aux joints de pose (page 09)
- Figure 2.4 joint perpendiculaire aux joints de mortier de pose (page 10)
- Figure 2.5 l'essai de flexion (page 10)
- Figure 2.6 Modes de rupture sous flexion uni-axiale (page 10)
- Figure 2.7 L'installation de l'essai de résistance à la traction pour la maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier (page 11)
- Figure 2.8 diagramme typique contraintes-déplacements pour l'essai de résistance à la traction dans une maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier (page 11)
- Figure 2.9 Modes de rupture soumis au cisaillement (page 12)
- Figure 2.10 1 comportement uni axial de la maçonnerie sous chargement normale aux joints de mortier (page 13)
- Figure 2.11 Relation type contrainte-déformation du mortier, brique et assemblage de briques
- Figure 2.12 diagramme typique expérimentale contraintes - déplacements pour un prisme de dimensions  $500 \times 250 \times 600$  [mm<sup>3</sup>] avec : mo la résistance du mortier à la compression (page 14)
- Figure 2.13 les modes de rupture selon PAGE 1978 (page 16)
- Figure 2.14 les modes de rupture par SHAAN (page 17)

## Le chapitre 3

- Figure 3.1 la brique utilisé (page 20)
- Figure 3.2 exemple de brique déformé (page 21)
- Figure 3.3 le surfaçage sur la brique (page 22)
- Figure 3.4 l'essai d'absorption (page 23)
- Figure 3.5 courbe granulométrique de sable naturel et corrigé. (page 24)
- Figure 3.6 essai de bleu méthylène (page 25)
- Figure 3.7 Moules et éprouvettes de mortier (page 27)
- Figure 3.8 dame à choc (page27)
- Figure 3.9 la consistance normale (page27)
  
- Figure 3.10 schéma identifie la dimension réelle de l'essai (page 28)
- Figure 3.11 essai de flexion par traction (page 29)
- Figure 3.12 Essai de compression pour le mortier (page 29)
  
- Figure 3.13 schéma identifié l'essai de compression et leurs dimension (page29 )
- Figure 3.14 Les dimensions de muret (page 30)
- Figure 3.15 les outils utilisés (page 30)
- Figure 3.16 Scie à Béton (page 30)
- Figure 3.17 Transpalette (page 30)
- Figure 3.18 Organigramme des essais sur les murets (page 31)
- Figure 3.19 disposition de confection (page 31)
- Figure 3.20 étalement du mortier (page32)
- Figure 3.21 Vérification la planéité (page 32)
- Figure 3.22 le surfaçage vertical (page 32)
- Figure 3.23 le surfaçage horizontal. (page 32)
- Figure 3.24 période de cure (page 32)
- Figure 3.25 dispositif d'essai (page 33)
- Figure 3.26 la barre de transmission (page 34)
- Figure 3.27 Pompe hydraulique (page 34)
- Figure 3.28 d'acquisition des données (page 34)

## Le chapitre4

- Figure 4.1 Influence de l'épaisseur épaisseur des joints de mortier sur la résistance de la maçonnerie (page 37)
- Figure 4.2 Influence de nature du mortier sur la résistance de la maçonnerie (page 37)
- Figure 4.3 la fissure parallèle à la direction de la charge (page 38)
- Figure 4.4 la rupture est éclatement de la brique (page39)
  
- Figure 4.5 rupture par dégradation sur des joints de mortier (page 39)
- Figure 4.6 rupture par éclatement du bloc supérieur (page 39)
- Figure 4.7 Histogramme de comparaison nos expérimentale avec l'expression empirique (Page 41)

# Liste des tableaux

## Le chapitre 1

Tableau 1.1 compression admissible sur la maçonnerie (page 5)

Tableau 1.2 propriétés mécaniques indicatives des différents types de mortiers [ALIX GRANDJENA, 2010 (page 6)

## Le chapitre 2

Tableau 2.1 Formules empiriques de Hendry et Malek en fonction de l'épaisseur du mur (page 19)

## Le chapitre 3

Tableau 3.1 caractéristique physiques des briques (page 22)

Tableau 3.2 Caractéristique mécanique des briques creux (page 23)

Tableau 3.3 Les résultats de l'essai de capillarité (page 24)

Tableau 3.4 Caractéristique physique de sable (page 25)

Tableau 3.5 Le pourcentage propreté du sable (page 25)

Tableau 3.6 Valeur du bleu de méthylène et Nature du sol (page 26)

Tableau 3.7 caractéristique physique du ciment (page 26)

Tableau 3.8 Composition de l'eau de gâchage (page 26)

Tableau 3.9 formulation du mortier utilisé (page 28)

Tableau 3.10 les résultats pour l'essai de compression et de flexion (page 29)

## Le chapitre 4

Tableau 4.1 : les résistances à la compression des murets confinées à 28 jours. (Page 36)

Tableau 4.2 : comparaison avec les expressions empiriques. (Page 40)

# Introduction générale

L'utilisation de la maçonnerie dans la construction des bâtiments est une pratique généralisée dans de nombreux pays. Dans les pays du tiers monde, la plupart des maisons de campagne et dans certains quartiers défavorisés des villes sont construites en maçonnerie porteuse.

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

La plupart des règlements existants simplifient le comportement de la maçonnerie dans le but de fournir des critères pratiques pour l'analyse et le calcul des structures. Ces critères comportent, en général, l'utilisation des modèles linéaires qui considèrent la maçonnerie comme un matériau homogène.

Ils sont proposés sur la base de propriétés mécaniques déterminées au moyen d'essais simples sur des petits murs ou des prismes, ce qui reste insuffisant pour décrire le comportement mécanique d'une structure réelle.

L'objectif de notre travail est de réaliser des essais expérimentaux, sur des murs en maçonnerie en utilisant des blocs en brique creux, avec variations de l'épaisseur du joint du mortier et la nature du mortier soumise à une charge verticale jusqu'à la rupture

Notre travail a été organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre définit la maçonnerie, ses types et ses constituants.

Le deuxième chapitre présente une revue bibliographique sur le comportement de la maçonnerie à la flexion, à la compression, à la traction et au cisaillement. Et quelques travaux effectués sur la compression et présentation des expressions empiriques.

Le troisième chapitre introduit le programme expérimental effectuée au niveau du laboratoire en mettant en exergue les méthodes et matériaux.

Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation et l'exploitation des résultats des essais expérimentaux réalisés sur des murets tests. Et la comparaison des résultats obtenus avec les travaux cités dans la bibliographie.

Enfin nous terminons ce travail par une conclusion sur notre recherche, et quelques recommandations sur les recherches futures.

# Chapitre 1

## Généralités sur la maçonnerie

### 1.1 Introduction

Ce chapitre porte sur la bibliographie concernant les principaux composants de la maçonnerie. On décrit successivement les différents types de maçonnerie, les appareillages et les mortiers de jointoiment. Enfin, les pathologies des maçonneries feront l'objet de la dernière partie de ce chapitre.

### 1.2 Historique des maçonneries

Dans sa forme la plus primitive, la maçonnerie est aussi ancienne que l'homme. Les civilisations antiques l'ont utilisé pour diverses réalisations dont le support c'est la pierre, la brique, etc.

- Les égyptiens élèvent les premiers des édifices imposants en pierre, à l'exemple de leurs temples et des pyramides,  
En Assyrie, témoignent d'un usage de la pâte cuite sur les rives du Tigre. A Ninive, les assyriens allient la pierre et la brique dans la construction du Palais Khorsabad. On y a aussi trouvé des briques et des carreaux de terre cuite de fabrication industrielle,
- En Chine, l'ouvrage gigantesque était constitué d'un soubassement en granit et des parements en briques,
- L'art de construire atteint avec les Grecs un degré de perfection des grands monuments qui ont en blocs de marbre parfaitement taillés, et assemblés au moyen de goujons en fer,
- Les romains ont varié l'utilisation des briques, de moellons et aussi l'usage de la maçonnerie en béton et perfectionné les voûtes,

### 1.3 Définition

La maçonnerie est une technique de construction utilisée depuis des siècles et constitué d'assemblage d'un matériau composite comprenant des éléments résistants d'origine naturelle ou artificielle : bloc de pierre, brique, béton, etc., unis en général par des joints de mortier pour rendre l'ensemble cohérent. Lorsque le mortier n'existe pas on dit que la maçonnerie est sèche (figure 1.1).



**Figure 1. 1** : Maçonnerie de pierres sèches [Laboratoire Régional de l'Equipement de Saint-Brieuc (LRSB), 1994]

### 1.4 La maçonnerie confinée

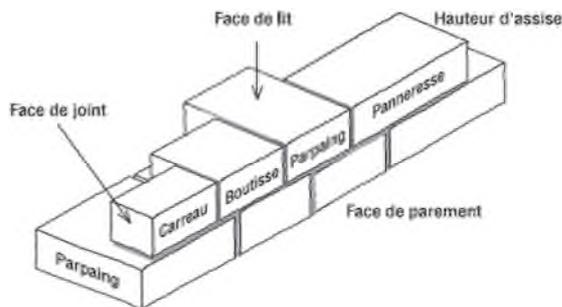
Maçonnerie intégrant des éléments de confinement comme les éléments en béton armé dans les directions verticales et horizontales pour améliorer la stabilité mécanique.

### 1.5 Propriétés de la maçonnerie

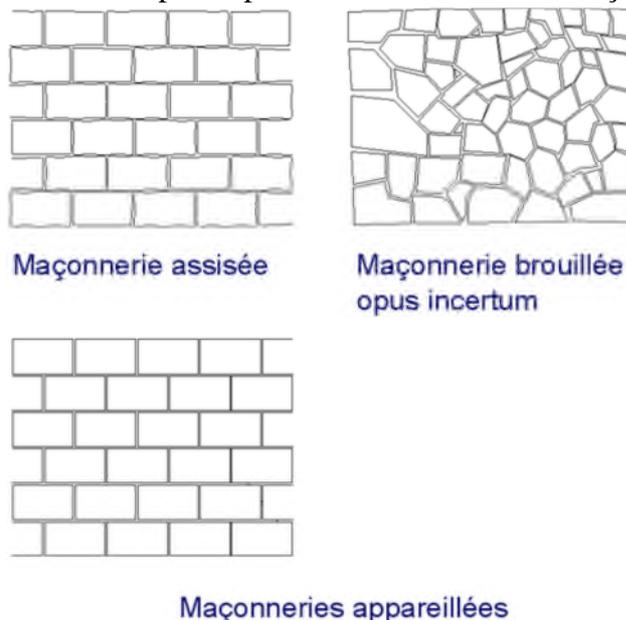
- Isolation thermique : limite le passage de la chaleur,
- Isolation phonique : limite le passage les bruits extérieurs et intérieurs par les parois de grande inertie,
- Protection contre les intempéries et le feu,
- Assemblage facile : entre le support : pierre, brique, parpaing, etc. et le mortier,
- Stabilité mécanique : pour pallier la diminution des caractéristiques mécaniques du matériau sous sollicitation normales.

### 1.6 Les différents types de maçonnerie

Les variétés des blocs utilisés dans les constructions, dépendent de la nature de l'ouvrage et de la région où construire. L'appareillage se fait en fonction de nature du support (figures 1.2 et 1.3)



**Figure 1.2 :** Exemple de pose des éléments d'une maçonnerie.



**Figure 1.3 :** Les types d'agencement de la maçonnerie

### 1.6.1 Maçonnerie de pierre de taille

Une maçonnerie de pierre de taille est un ouvrage réalisé avec des pierres taillées, de fortes dimensions 30 à 80 cm. Les blocs dépendent de l'ouvrage à réaliser qui peut être utilisé comme structure porteuse ou d'habillage.

### 1.6.2 Maçonnerie de moellon

Une maçonnerie de moellon est un ouvrage réalisé avec des éléments de pierre non équarris. Ils sont peu économiques en mortier de pose.

### 1.6.3 Maçonnerie en agglomérés de béton

Leur utilisation a pris un grand essor de nos jours avec l'apparition du béton de ciment portland. Il s'agit de blocs moulés en béton comprimés à l'aide d'une machine pondeuse. Ils peuvent être pleins, perforés ou creux.

### 1.6.4 Maçonnerie en briques d'argile cuite

Une maçonnerie en brique est un ouvrage réalisé par assises réglées avec de petits éléments de terre cuite, appréciés pour leur résistance et leur isolation thermique. Selon leurs moulages, ces éléments sont soit pleines.

Les briques pleines constituent d'excellents murs porteurs. Leurs résistances atteignent 1,6 MPa selon le tableau (1.2) et présentent une gamme de teintes très variées. Elles sont liaisonnées au mortier de joints épais, généralement 1.5 cm pour les joints horizontaux (assises) et 1 cm pour les verticaux.

**Tableau 1.1** : Compression admissible de la maçonnerie en fonction du produit [Bezzar et Bendedouche, 1997].

Nature de la maçonnerie	Compression Admissible (MPa) Nature du mortier de jointoiment	
	Ciment	Chaux
Moellons bruts en pierre naturelle	0,6 à 1,2	0,2 à 0,9
Pierre de taille, dureté normale	1,5 à 5	/
Pierre de taille, très tendre	0,5	/
Agglomérés perforés en béton	1,6	/
Béton dosé à 150 kg/m <sup>3</sup>	1	/
Béton dosé à 200 kg/m <sup>3</sup>	1,8	/
Béton dosé à 250 kg/m <sup>3</sup>	2,5	/
Briques pleines	1,6	/
Briques perforées	1,6	/
Briques creuses	0,6	/

### 1.6.5 Maçonnerie composite (mixte)

Un ouvrage composé de deux ou plusieurs matériaux de base de nature et format différents pour bâtir un ouvrage (figure 1.4).



**Figure 1.4** : Maçonnerie mixte de granit et roches métamorphiques [manuel de sensibilisation maçonnerie, 2006]

## 1.7 Les mortiers

Le mortier est à la base de tous les travaux de maçonnerie que ce soit pour construire, pour enduire ou pour réparer.

### 1.7.1 Définition de mortier

Le mortier est un mélange pâteux de liant (chaux ou ciment) et de sable additionné d'une quantité d'eau suffisante, destinée à relier entre eux les supports dans une maçonnerie. On distingue différentes catégories de mortiers :

- **Mortier de ciment** : fabriqué avec du ciment portland, blanc ou gris. Il est très résistant, de faible plasticité et fissure rapidement. Il est souvent utilisé pour des travaux de scellement,
- **Mortier de chaux**: fabriqué avec de la chaux hydraulique. Il est moins résistant et moins étanche que le mortier de ciment ; mais il présente une plus grande plasticité et laisse respirer les murs. Sont utilisés pour les menus ouvrages de maçonnerie,
- **Mortier bâtard**: fabriqué avec un mélange de ciment et de chaux. Il présente des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux. Il présente une très bonne adhérence, une excellente élasticité, un bon pouvoir de rétention d'eau et un retrait limité.

**Tableau1.2.:** Propriétés mécaniques des différents types de mortiers [ALIX GRANDJENA, 2010].

Type de mortier	Résistance en compression [N/mm <sup>2</sup> ]	Résistance en traction [N/mm <sup>2</sup> ]	Module d'élasticité [N/mm <sup>2</sup> ]
Mortier de chaux aérienne	0.5 - 3	0.3 - 0.7	1000 - 3000
Mortier de chaux hydraulique	1 - 6	1 - 1.5	3000 - 5000
Mortier de chaux pouzzolanique	1 - 6	1 - 1.5	3000 - 5000
Mortir mixte	4 - 15	1 - 3	3000 - 8000
Mortier de ciment	10 - 20	2 - 4	6000 - 9000

### 1.7.2 Les joints

L'épaisseur du joint est souvent variable d'un ouvrage à un autre : elle dépend du type de maçonnerie. La forme du joint dépend de la localisation de l'ouvrage et de l'époque de construction. Les joints jouent un triple rôle :

- Ils assurent le monolithisme de la maçonnerie et sa résistance aux effets de compression, traction, flexion ou cisaillement qui peuvent s'exercer sur elle.
- Ils participent à l'étanchéité du mur. Une pénétration d'eau de pluie est presque toujours due à un défaut d'étanchéité des joints.

- participent, en maçonnerie apparente, à l'esthétique de l'ouvrage en mettant en valeur l'appareillage et en adoucissant ses coloris.

## **1.8 Pathologies courantes sur les ouvrages en maçonnerie**

Les ouvrages peuvent être soumis à toutes sortes d'actions. Les conséquences de ces actions induisent des pathologies à la maçonnerie qui sont à l'origine des dégradations des matériaux de construction ainsi que de l'ouvrage ou de parties de l'ouvrage.

### **1.8.1 Présence d'eau**

L'eau attaque les matériaux en provoquant la dissolution des sels solubles présents. La présence d'acides, attaque les carbonates de chaux ou de magnésium contenus dans les supports de la maçonnerie.

### **1.8.2 Altération des joints entre blocs**

La disparition plus ou moins importante du mortier entre les moellons ou briques d'une maçonnerie est nommée disjoints (figure 1.5). Alors que l'action d'enlever le mortier entre les moellons avant les travaux de rejointoiement est le déjoints.

La dissolution des joints entre les briques se fait à cause de la nature de l'eau et l'aptitude à la dissolution du liant. Les efforts mécaniques peuvent aussi altérer les joints.



**Figure 1.5 :** Disjoints profonds et dislocation d'ouvrages en maçonnerie

## **1.9 Conclusion**

La maçonnerie est l'ouvrage le plus utilisé dans le monde par différents matériaux constituant

## Chapitre 2

### Les comportements de la maçonnerie

#### 2.1 Introduction

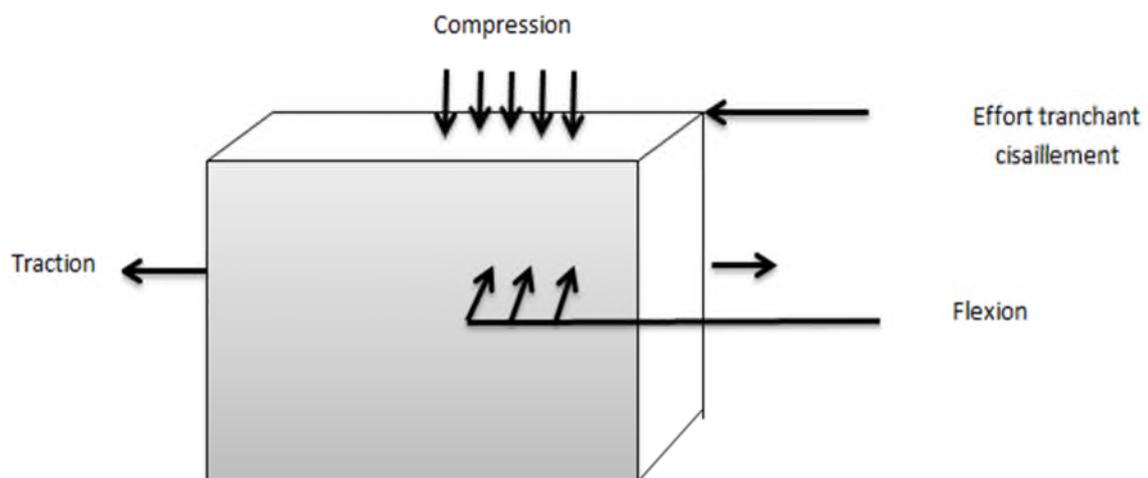
Dans ce chapitre nous présentons les différentes sollicitations appliquées à la maçonnerie et leurs mécanismes de rupture.

- Le comportement en flexion des murs en maçonnerie,
- Le comportement en traction des murs en maçonnerie,
- Le comportement des murs en maçonnerie sous chargement de cisaillement,
- Le comportement en compression des murs en maçonnerie,

Toutes ces sollicitations ont des conséquences considérables sur la résistance des maçonneries.

#### 2.2 Le comportement de la maçonnerie sous diverses sollicitations :

Les sollicitations subies par les murs en la maçonnerie sont divers, comme indiqué sur la figure (2.1).



**Figure 2.1:** Les forces agissant sur les murs.

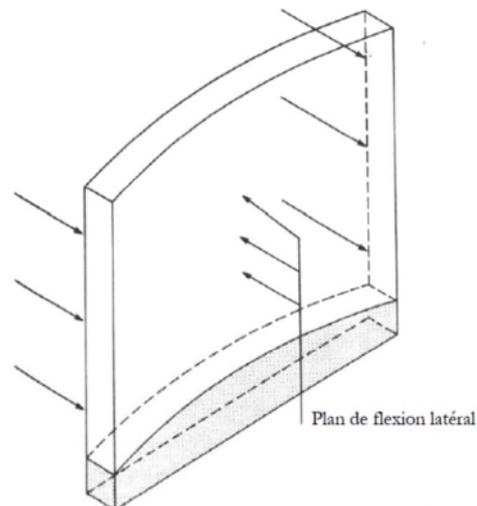
##### 2.2.1 Le comportement de la maçonnerie en flexion

L'effet de flexion peut être induit dans diverses configurations de sollicitations. Par exemple les efforts latéraux dus aux séismes, inondations, avalanches de neige ou de boue suite à un glissement de terrain, la pression latérale induite par un mur d'eau comme un tsunami et le vent. Ou alors dans le cas de sollicitations accidentelles, comme une explosion.

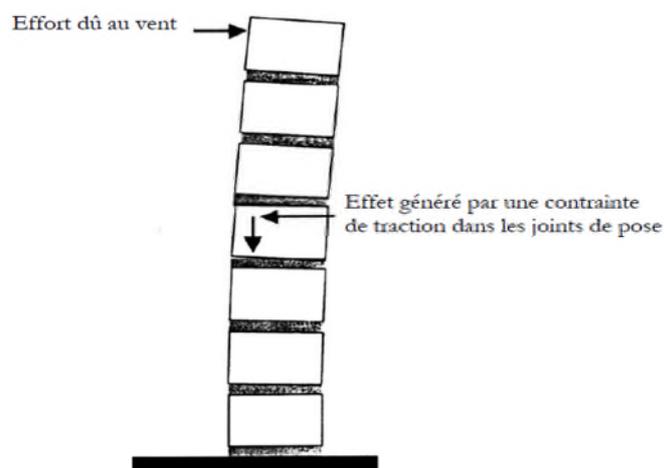
La maçonnerie résiste à ces efforts latéraux grâce à la grande inertie

On distingue

- l'effort est appliqué au plan parallèle aux joints de pose figure (2.3)
- l'effort est appliqué au plan perpendiculaire aux joints de pose figure (2.4)

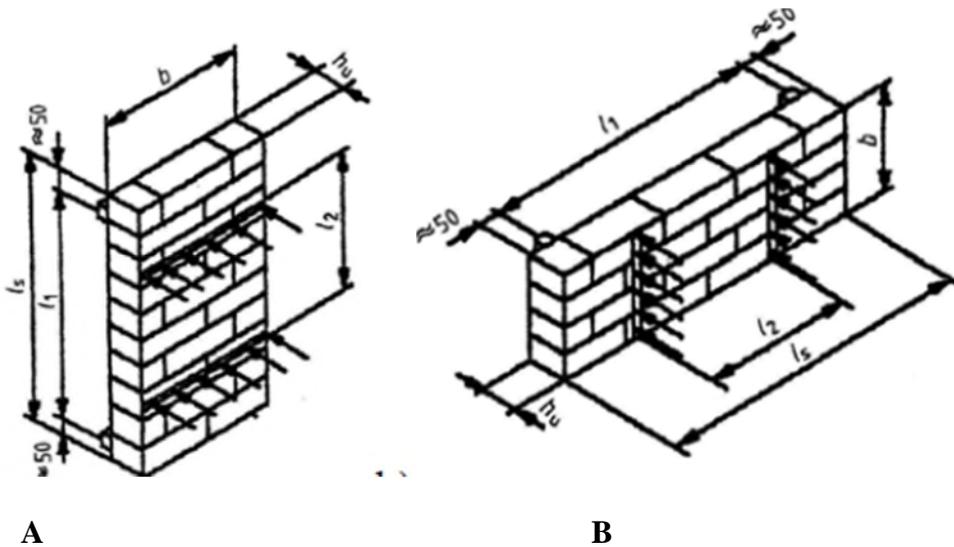


**Figure 2.3 :** L'effort parallèle aux joints de pose.



**Figure 2.4 :** Joint perpendiculaire aux joints de mortier de pose.

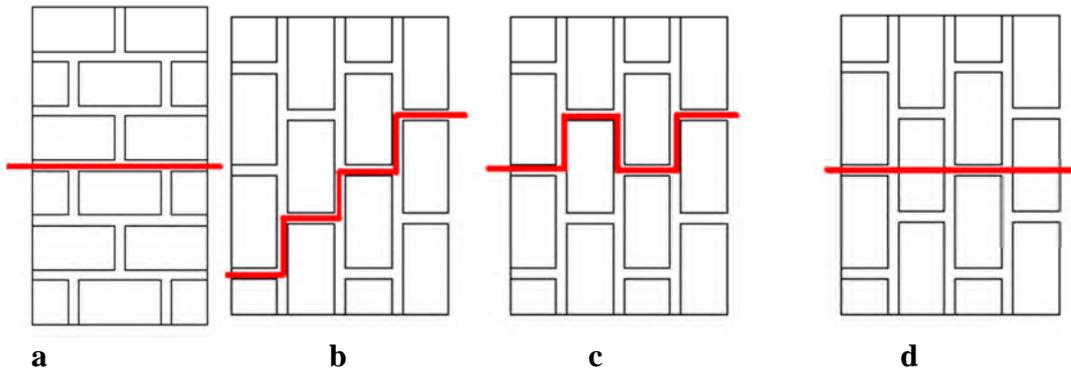
**Les modes de rupture sous chargement de flexion :**



**A** Test flexion 4 points (Eurocode 6) : Plan de rupture parallèle au lit de pose (flexion horizontale)  
**B** Test flexion 4 points (Eurocode 6) : Plan de rupture Perpendiculaire au lit de pose (flexion verticale)

**Figure 2.5 :** L'essai de flexion

Les modes de rupture observés sont :



a) flexion horizontale ; (b.c) flexion verticale (zigzag, dentée) ; d) flexion verticale (division)

**Figure 2.6 :** Modes de rupture sous flexion uni-axiale

**2.2.2 Le comportement de la maçonnerie en traction :**

La maçonnerie construite possède une faible résistance à la traction c'est pourquoi il est nécessaire d'ajouter des armatures ou bien d'améliorer cette résistance par l'addition des adjuvants tels que les polymères ou le latex

Le mode de rupture

On distingue deux catégories pour l'essai de traction

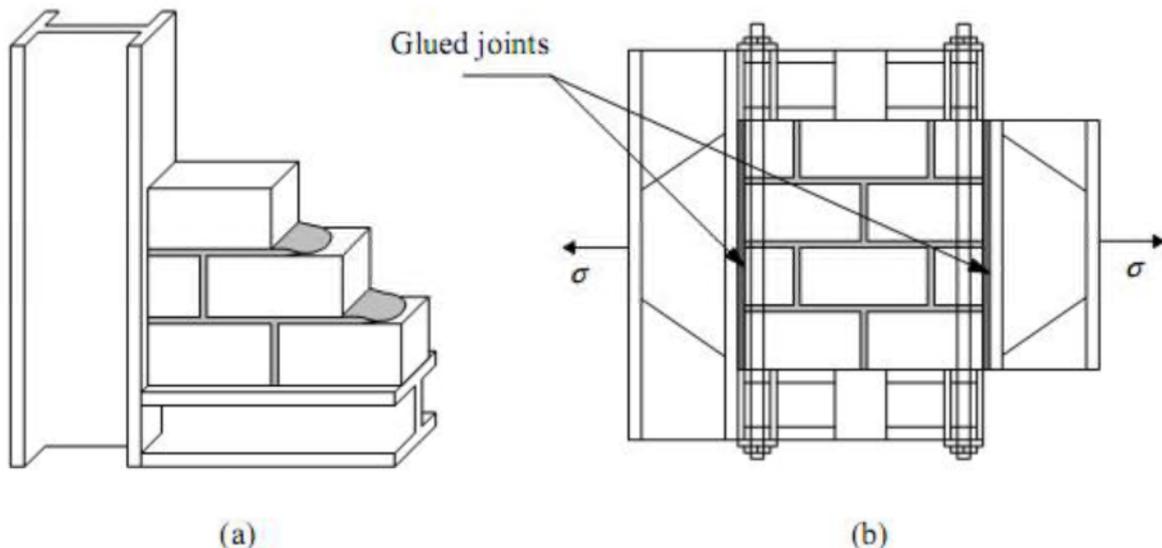
**a/Traction de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers :**

Dans ce cas, la fissuration est causée par une faible résistance à la traction entre le joint de mortier et la brique.

la résistance à la traction de la maçonnerie dans ce cas peut être égalisée à la résistance à la traction de la brique si sa mauvaise qualité.

### b/Traction de la maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers :

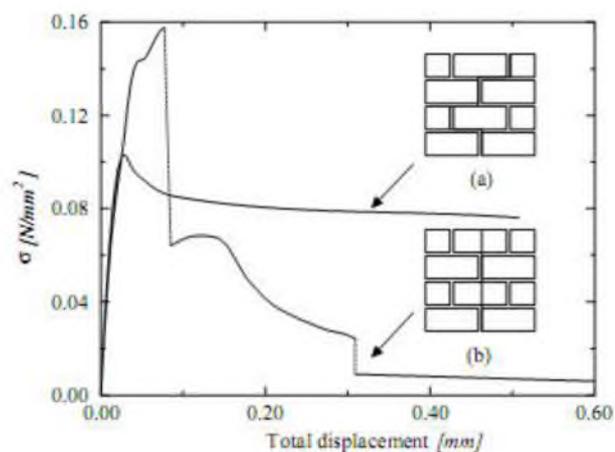
Backes (1985) a installé un essai (figure 2.7) pour déterminer la résistance de la maçonnerie en traction



**Figure 2.7 :** L'installation de l'essai de résistance à la traction pour la maçonnerie avec Un chargement parallèle aux joints de mortier.

### C / le mode de rupture

la rupture se fait par le glissement et la fissuration des joints de mortier, elle dépende de la résistance relative des joints de mortier et des briques (figure 2.8).



**Figure 2.8 :** Diagramme typique contraintes-déplacements pour l'essai de résistance à la traction dans une maçonnerie avec un chargement parallèle aux joints de mortier.

### 2.2.3 Le comportement de la maçonnerie en cisaillement

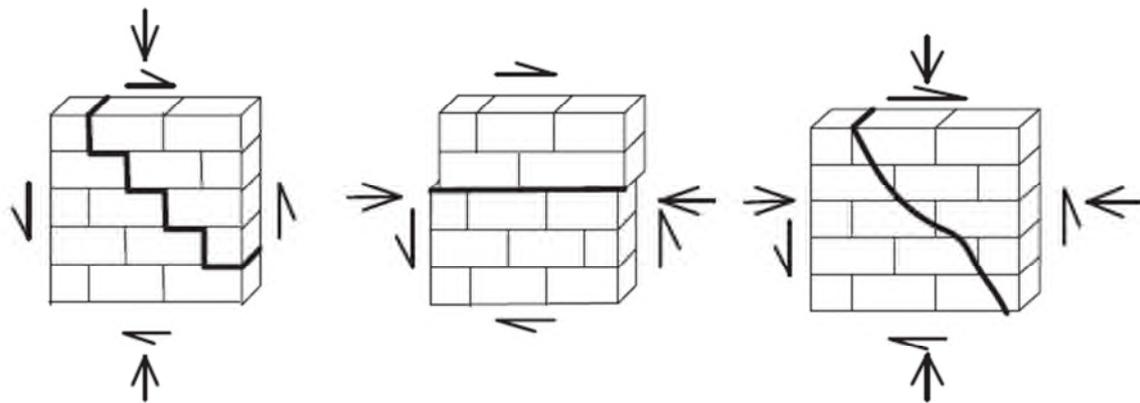
Les murs en maçonnerie soumis aux actions horizontales, tel que le séisme et le vent, ces actions horizontales sont généralement combinées avec les actions gravitaires du poids propre ou des surcharges normales aux joints de mortier.

### Le mode de rupture

La rupture est liée à la présence des discontinuités (matériau composé), elle s'agit de l'apparition de fissures le long de la diagonale comprimée jusqu'à l'effondrement total.

On a deux catégories de la 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.



**Figure 2.9** : Modes de rupture soumis au cisaillement

### 2.2.4 Le comportement en compression des murs en maçonnerie

#### a) Compression de maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortiers :

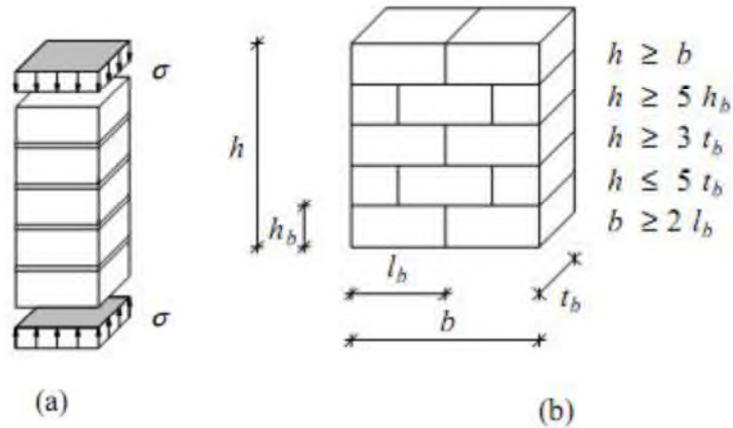
L'essai de RILEM (figure 2.10) permet de la mesure la résistance à la compression dans la direction normale aux joints de mortier et selon la norme américaine ASTM E 447

Ce principe de l'essai conduit à transmettre la maçonnerie à un état de compression triaxial dans le mortier et une compression biaxial avec traction dans les briques.

Le montage de cet essai est plus proche de la réalité, mais demande des mises en œuvre, d'installations et exécution de l'essai assez compliquée et nécessite des appareils adéquats.

Il est accepté communément que la résistance en compression uniaxiale réelle de la maçonnerie dans la direction normale aux joints de mortier peut être obtenue à partir de L'essai RILEM (figure 2.10)

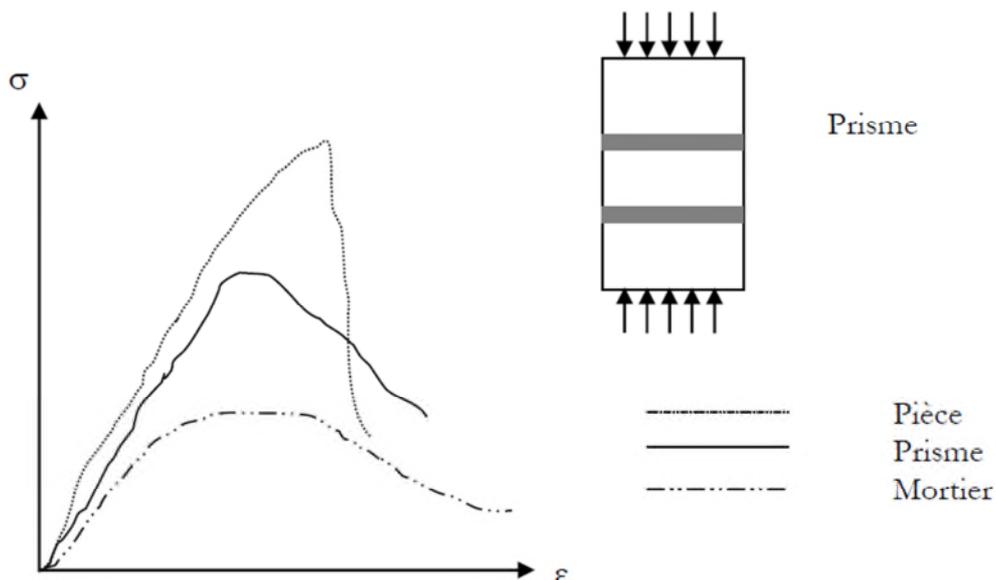
Les fissures verticales apparaissent dans les unités le long de la ligne centrale du spécimen et le long du joint vertical. La résistance croissante conduit à un comportement plus fragile.



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

**Figure 2.10** : Le comportement uni axial de la maçonnerie sous chargement normale aux joints de mortier

Les essais de PAGE ( 1978) permettent de donner une comparaison sur les essais de prisme et résistance de mortier et les blocs en maçonnerie, la figure 2.11 présente le mécanisme de rupture



**Figure 2.11** : Le comportement de prismes en compression

Le mortier, en général est plus flexible que les éléments de maçonnerie, essaie de s'échapper du joint sous la charge verticale, tandis que la pièce, plus rigide, s'oppose à ce mouvement. De ce fait, le mortier est placé dans un état de compression biaxiale et la pièce reste soumise à des contraintes de traction transversales qui diminuent la résistance du prisme.

Meli [cité par Lafuente, 1990] a appelé l'effet joint, étudié aussi en détail par Hilsdorf [cité par Lafuente, 1990]

Dans son travail, Meli résume les résultats de ses travaux sur prismes en compression uniaxiale. Il propose des courbes contrainte-déformation axiale qui peuvent être considérées comme linéaires jusqu'à 70% de la charge maximale.

### 2.3.2 Compression de maçonnerie dans la direction parallèle aux joints de mortiers :

D'après Fouchal (2006) et Lourenco (1996), le rapport entre les résistances à la Compression parallèle et normale au joint de mortier horizontal comprise entre 0.2 et 0.8. Ces résultats ont été observés sur des éprouvettes de maçonneries qui sont constituées par des briques pleines et perforées à base d'argile, de calcium silicate et aussi du béton léger.

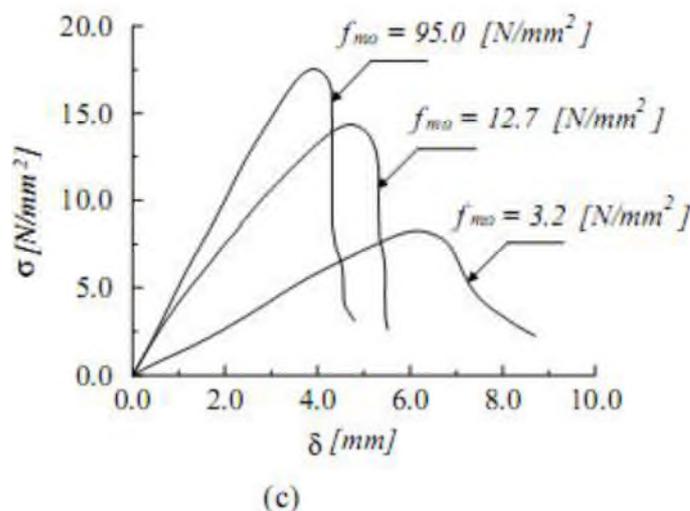
#### Mécanisme de rupture sous compression axiale:

Les murs en maçonnerie chargés axialement dans la direction perpendiculaire aux joints de mortiers ont toujours observé des comportements linéaires pour de faibles chargements. Aussitôt que la charge est augmentée, le matériau devient non linéaire et des fissures verticales apparaissent à des niveaux de chargements inférieurs à la capacité portante du mur. Le mur devient instable et incapable de supporter les charges qui sont appliquées, donc la rupture apparaît du a l'interaction entre les blocs et le mortier en résultant des différentes déformations

### 2.3 Résistance du mortier :

La résistance à la compression des unités de briques a une grande influence sur la résistance à la compression que la résistance du mortier.

Mais pour une certaine gamme donnée de briques, la résistance à la compression des assemblages de briques dépend de la résistance du mortier (voir la figure 2.12)



**Figure 2.12:** Diagramme typique expérimentale contraintes - déplacements pour un prisme de dimensions  $500 \times 250 \times 600 \text{ mm}^3$  avec :  $f_{m0}$  la résistance du mortier à la compression

## **-Épaisseur des joints de mortier :**

Il est habituellement recommandé d'utiliser des joints de mortier de 10 mm d'épaisseur. Hendry (1978) a montré que les joints de 16 à 19 mm d'épaisseur réduisent la résistance à la compression jusqu'à 30% par rapport au joint de 10 mm.

Bakhteri et al (2004) ont montré numériquement et expérimentalement que l'augmentation de l'épaisseur du joint de mortier diminue la résistance à la compression des assemblages de briques. Ils ont montré que l'optimum de l'épaisseur du joint est de 7.5 mm.

## **2.4 Les travaux sur les briques**

### **✓ Coefficient d'absorption :**

Les maçonneries sont mises en œuvre avec un rapport d'Eau/Ciment beaucoup plus important pour l'hydratation du ciment et pour pallier à l'eau absorbée par les briques.

L'évaluation du coefficient d'absorption des briques est nécessaire pour l'obtenir le temps et l'eau nécessaire à saturer les briques

Sahlin (1971) a montré que la résistance à la compression des assemblages de briques diminue, plus que le coefficient d'absorption croît.

### **✓ Qualité de travail :**

La qualité de travail a une grande influence sur la résistance à la compression des maçonneries en briques

Des études antérieures ont montré que les joints horizontaux non finis réduisent la résistance à la compression de 33% relativement aux joints bien finis et remplis.

### **✓ Résistance de la brique**

La résistance à la compression des panneaux dépend principalement de la résistance des unités de briques, mais pas d'une façon proportionnelle.

Aussi la résistance à la tension latérale est la caractéristique la plus importante, puisque la rupture des prismes des briques se fait justement par tension latérale, ce qui justifie l'apparition de fissures verticales le long des prismes chargés en compression axiale.

Merzoud .M a montré que la résistance à la compression des briques affecte considérablement la résistance à la compression de muret en maçonnerie des briques sous compression axiale.

### **✓ L'effet du pré mouillage de la brique**

Brocken et al(1998) a étudié l'effet du prémouillage les briques mais a constaté que ceci affecte le processus d'aspiration seulement d'une façon significative, si la teneur en eau de la brique atteint presque la saturation. Et pour les produits de conservation n'influence pas de manière significative la quantité de l'eau extraite, mais seulement ralentit l'aspiration

Également Green et al (1999) a mentionné cela seulement très grand les quantités de produits de conservation de l'eau montreraient les changements cruciaux de la quantité de l'eau absorbé par les briques

## 2.5 LES ETUDES EXPERIMENTALES CONCERNANT UN CHARGEMENT UNIAXIAL

Nous présentons dans cette partie les travaux qui ont été développés dans la littérature concernant l'étude de la maçonnerie sous chargement uniaxial.

Diverses études ont été réalisées concernant le comportement de la maçonnerie.

Les études les plus intéressantes sont celles de Page (1981), Shaan et Torrenti (1990), Pume (1998).

### 2.5.1 Travaux de PAGE [1978]

En 1978 le Page a étudié le comportement des panneaux de maçonnerie de la dimension 500x210x45 cm en briques pleines sous des sollicitations avec variation l'orientation du joint du mortier 0°, 45° et 90°.

PAGE a montré que l'hétérogénéité des constituants de la maçonnerie est l'origine de phénomène de décollement et glissement et aussi l'influence de l'orientation des joints du mortier sur le mode de fissuration et aussi sur la résistance

Ces résultats sont présentés dans la (figure 2.13).

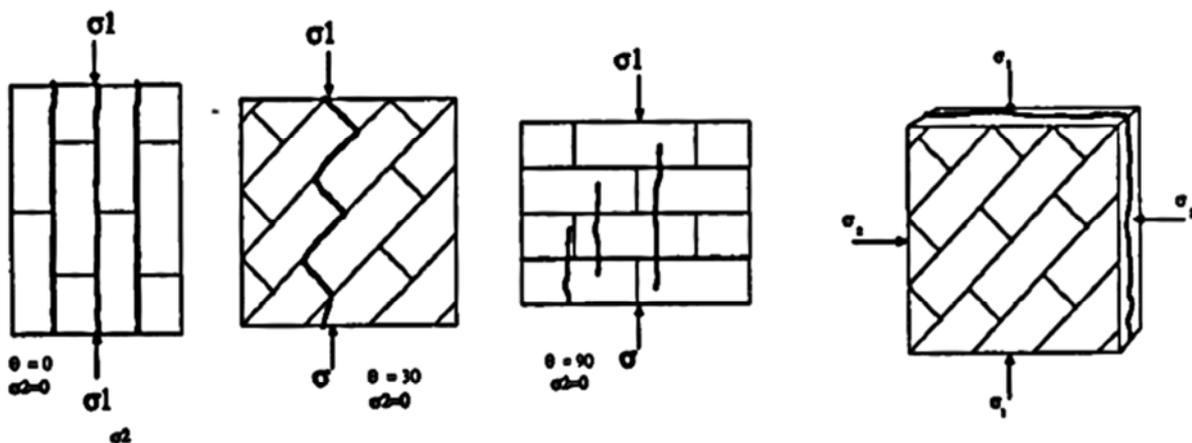


Figure 2.13: Les modes de rupture selon PAGE 1978

Les deux principaux modes de rupture ont été mis en évidence :

- 1) lorsque le rapport est petit la rupture se fait dans un plan parallèle à la surface libre du panneau
- 2) lorsque l'une des contraintes  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  est plus grande que l'autre (environ 10 fois), la rupture se fait dans un plan normal à la surface libre du panneau.

## 2.5.2 Modèle de SHAAN 1978

EN1978 SHAAN a étudié les comportements de la maçonnerie en brique creuse de terre cuite avec des variations l'orientation du l'axe e la charge, la nature et de l'épaisseur de joint du mortier

SHAAN a montré que la présence des joints de mortier a un influence sur le comportement de la maçonnerie.(voir la figure 2.14)

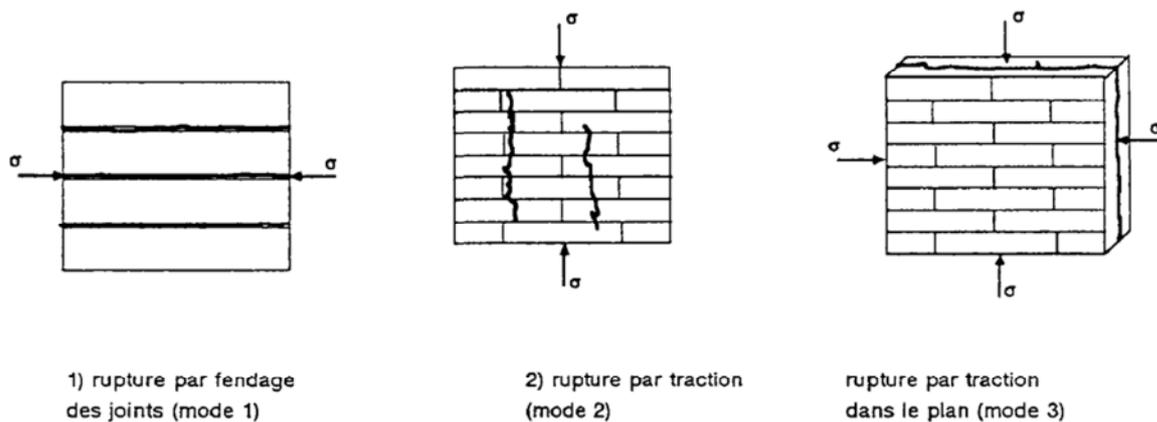


Figure 2.14 : Les modes de rupture par SHAAN

## 2.5.3 Travaux de PUME

en 1998 Pume a travaillé sur 275 murets en maçonnerie en brique de terre cuite creuse (petits modèles), soumis à la compression, produite entre 1955 et 1992 en République Tchèque.

Pume a utilisé des briques avec une perforation verticale

Ces essais lui ont permis de montrer que les murets en maçonnerie confectionnés avec les briques présentant une perforation verticale, donnent une résistance à la compression plus élevée que les autres briques.

## 2.6 Les travaux réalisés au niveau de l'université de Tlemcen

### 2.6.1 Travaux de HOUTI et col 2002

En 2002 , Houti a étudié le comportement des panneaux en maçonnerie de dimension 10x90x100 cm en brique silico calcaire et en bloc de béton et en brique de terre cuite sous un chargement uniaxiale jusqu'à la rupture avec variation de l'épaisseur du joint du mortier( 2 mm,10 mm et 15 mm) et la nature des mortier à l'orientation du joint par rapport la charge appliqué (0°.45°.90°) été varié

Houti a montré que l'épaisseur du joint de mortier 10 mm offre la résistance à la compression et aussi il a présenté que les murets en parpaings présentent une résistance à la compression supérieure à ceux des briques en terre cuite .,

## 2.6.2 Meziane (2004)

Meziane a étudié des 13 panneaux de maçonnerie de 80X 100 cm<sup>2</sup> en blocs de béton parpaing

Cette étude consiste à la à la variation du dosage en ciment (300 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup>, 450 kg/m<sup>3</sup>) Avec d'utilisation de 3 types de sable (ENG, TERGA, et mélange (1/2 ENG+ 1/2 TERGA))

D'après les résultats de Meziane, le mortier dosé Le mortier dosé à 450 kg/ m<sup>3</sup> offre la meilleure résistance à la compression et il a constaté q que le sable le plus résistant à la compression c'est le sable concassé ENG.

## 2.6.3 BENNECEUR ET BOUAKKAZ (2007).

BOUAKKAZ et BENNECEUR ont réalisés des panneaux en maçonnerie en blocs de béton, ils ont réalisés 19 murets de : 10 x 81 x104 cm<sup>3</sup>, pour étudier le phénomène de confinement sous chargement uni axiale jusqu'à la rupture avec variation des paramètres suivantes

- la nature du sable local (TERGA, ENG (S.A.B), ENG (D.A))
- l'apport de confinement

Bennaceur et Bouakkaz ont montrés que la résistance des murs confiné est supérieure que les résistances des murs non confinés.

## 2.7 Les formules empiriques pour le calcul de la résistance de la maçonnerie

### 2.7.1 EUROCODE6 (l'EN 1996-1-1)

Selon ce projet, la résistance caractéristique d'une maçonnerie peut être évaluée au moyen de La formule suivante [Eurocode6, 1996] :

$$f_k = K \cdot f_b^{0.65} \cdot f_m^{0.25}$$

Où:

**f<sub>b</sub>** : est la résistance du produit multipliée par un coefficient dit « coefficient de forme », uniquement fonction des dimensions extérieures du produit,

**f<sub>m</sub>** : résistance de mortier.

Le contenu de l'étude présentée par l'EUROCODE6 tente de combler cette insuffisance en apportant, après analyse des phénomènes observés au cours d'essais et complément d'informations tiré de l'approche par la méthode des éléments finis, un ensemble de formulations simples suffisamment représentatives de la réalité. Pour cela, les maçonneries ont été classées selon leur type de comportement à la rupture en trois groupes :

- Les maçonneries de produits pleins,
- Les maçonneries de produits creux à alvéoles verticales,
- Les maçonneries de produits creux à alvéoles horizontales.

Les valeurs recommandées de K changent de 0.6 pour les murs qui ont la même épaisseur que les unités de maçonnerie et de la catégorie la plus élevée de la qualité, à 0.4 dans le cas des murs qui ont un joint longitudinal dans l'épaisseur et ont des unités de maçonnerie de mauvaise qualité. La résistance normalisée d'unité est prévue pour être l'équivalent d'un cube en 100 mm, présenté pour donner une formule simple pour des unités de différentes proportions

### 2.7.2 Les formule Hendry et Malek

Il existe actuellement en littérature un volume de données considérable des essais sur des murs de maçonnerie effectués dans plusieurs pays dans le monde. Hendry et Malek [Hendry et col, 1986] ont effectué une analyse statistique de plusieurs centaines d'essais de murs et ont obtenu des équations convenables pour la détermination de la résistance moyenne des murs de brique de taille d'étage, épais de 102,5 mm et de 215 mm construits avec des unités pleines, les auteurs ont utilisé un mortier bâtard dans les proportions de 1: ¼: 3 et 1: 1: 6 ciment : chaux : sable. L'épaisseur du mur à 102.5 mm est équivalent à la largeur d'une brique et le mur à 215 mm d'épaisseur est le résultat de 2 briques collées l'une à l'autre et équivalent à la longueur de la brique. Les équations obtenues étaient comme suit:

**Tableau 2.1** : Formules empiriques de Hendry et Malek en fonction de l'épaisseur du mur

Épaisseur de maçonnerie (mm)	Résistance à la compression moyenne du mur (N/mm <sup>2</sup> )
102,5	$F_M = 1.42 f_b^{0.531} f_m^{0.208}$ (2.2)
215,0	$F_M = 0.334 f_b^{0.778} f_m^{0.234}$ (2.3)

### 2.7.3 Les formules de Rostampour et Mann :

Rostampour [Rostampour, 1973] a constaté que la résistance à la compression moyenne de la maçonnerie de parpaings réalisée avec un mortier bâtard, dans les proportions 1: 1: 6 Ciment : chaux: sable, est représentée par l'équation :

$$F_M = 0,9 \cdot f_b^{0.67} \cdot f_m^{0.33} \quad (2.4)$$

Basé sur une analyse statistique des résultats de 925 essais de murs avec divers types d'éléments et de résistance de mortiers, Mann [Mann, 1982] a établi une relation entre les résistances de la maçonnerie, les produits et les mortiers, semblable à celle de Rostampour [Rostampour, 1973], soit :

$$F_M = 0,83 \cdot f_b^{0.66} \cdot f_m^{0.33} \quad (2.5)$$

### 2.7.4 La formule de CNERIB :

La formule empirique utilisée par le CNERIB [DTR.C2-45] pour la détermination de la résistance de la maçonnerie est :

$$F_M = 0,55 \sqrt[3]{f_m \cdot f_b^2} \quad (2.6)$$

## 2.8 Conclusion

malgré l'observation de l'hétérogénéité de la maçonnerie, nous présentons quelque études sur le comportement en compression de la maçonnerie.

# Chapitre3

## Etude expérimentale

### 3.1 INTRODUCTION

Un dispositif expérimental a été mis au point pour étudier le comportement de compression des maçonneries confinées.

On a structurée notre programme expérimental en trois parties :

1- identification des choix des matériaux :

détermination des caractéristiques mécaniques des briques et les constituants du mortier.

2 - confection du mortier :

détermination du (rapport : Eau/ Liant) pour un mortier a consistance normal.

3 - confection et réalisation des murets testes :

Avec respect de la planéité horizontale et verticale.

### 3.2 Identification des choix des matériaux:

#### 3.2.1) Les briques

##### a) caractéristique géométrique

Les murets sont confectionnés à partir de brique en terre cuite creuse (voir figure 3.1) de 9 x 20 x 28 cm<sup>3</sup>



**Figure 3.1** : Les briques utilisées.

La confection des murets a été réalisé selon les règles de l'art mais nous avons eue quelques difficultés (voir la figure 3.2) a cause de la mauvaise qualité des briques (voilement, dimension, fissuré....) qui ont influées sur la qualité et les résultats obtenu lors de l'écrasement



**Figure 3.2 :** Exemple de brique voilée.

### **b) caractéristique physique**

La masse volumique (tableau 3.1) des éléments est déterminée par la méthode géométrique. Les mesures sont effectuées sur neuf briques. La masse volumique est en ( $\text{Kg/m}^3$ ) :

#### **Le principe l'essai**

- séchage de l'éprouvette dans l'étuve a  $105^\circ\text{C}$
  - on pèse, soit  $M$  la masse de cette éprouvette en Kg
  - On mesure le volume de l'éprouvette net. Soit  $V$  ce volume en  $\text{m}^3$
- La masse volumique moyenne à l'état sec de l'éprouvette est déterminée par la formule

$$\rho_{\text{app}} = \frac{M}{V_{\text{net}}} \quad (3.1)$$

Où :

$\rho$  : masse volumique apparente ;

$M$  : masse de la brique ;

$V$  : volume net de la brique ;

**Tableau 3.1 :** Caractéristique physiques des briques

Echantillon	Masse (kg)	Volume net (m <sup>3</sup> ) 10 <sup>-3</sup>	S (m <sup>2</sup> )	ρ <sub>app</sub> (kg/m <sup>3</sup> )
1	3.3281	2.414	0.0265	1378.66
2	3.3311	2.482	0.0266	1342.10
3	3.275	2.424	0.0264	1351.07
4	3.2705	2.017	0.0260	1621.47
5	3.2938	2.415	0.0261	1363.89
6	3.2700	2.380	0.0256	1373
7	3.3536	2.116	0.0254	1584.70
8	3.1900	2.370	0.0256	1345.99
9	3.2379	2.443	0.0263	1325.23
			<b>Moyenne :</b>	<b>1409.57</b>

Selon le DTR C2-45 (2005) la masse volumique des briques en terre cuite creuses est comprise entre **500** et **2200 kg/m<sup>3</sup>**.

Dans notre cas La masse volumique est acceptable

### c) Caractéristique mécanique

Nous avons surfacé 7 briques avec un mortier (1C et 2S) (voir figure 3.3), ceci pour déterminé la résistance à la compression de la brique.



**Figure 3.3:** Le surfacage sur la brique.

$$\sigma_b = \frac{F}{S_n} \quad (3.2)$$

Où :

σ<sub>b</sub> : résistance à la compression en MPa .

F<sub>b</sub> : charge maximale de rupture en KN.

S<sub>n</sub> : section nette moyenne de la brique.

Le résultat obtenu dans le tableau suivant

**Tableau 3.2 : Caractéristique mécanique des briques creux**

Echantillon	Fc(KN)	σ (MPa)
1	28,0	1,09
2	37,0	1,44
3	37,9	1,46
4	23,7	0,92
5	30,4	1,17
6	43,7	1,74
7	32,1	1,24
Moyenne		1,29

**d) Essai d'absorption d'eau par capillarité (DTR C2-45)**

L'essai a pour objectif la détermination d'un critère permettant d'apprécier le pouvoir de succion d'un matériau au contact du mortier d'assemblage.

- un échantillon composé de 5 briques au minimum. Ces derniers sont
- séchés à l'étuve.
- La masse m<sub>1</sub>,
- La brique est ensuite immergée pendant 10 minutes suivant sa face de pose dans un récipient placé dans un plan horizontal et rempli d'eau de telle manière que la face à immerger du produit se trouve 5 mm au-dessous du niveau d'eau.
- Le matériau est pesé et soit m<sub>2</sub>.

Le pouvoir de succion d'eau exprimé en g/cm<sup>2</sup> est caractérisé par le coefficient C donné par la formule suivante :

$$C = \frac{(m_2 - m_1) \times 100}{S \sqrt{t}} \quad (3.3)$$

S : surface horizontale mouillée en cm<sup>2</sup> incluant ou non les vides

t : temps d'immersion en minutes.

m<sub>2</sub> : la masse de la brique humide en g

m<sub>1</sub> : la masse de la brique séché en g



**Figure 3.4 : L'essai d'absorption.**

Les résultats sont regroupés dans le tableau (3.3)

**Tableau3.3.:** Les résultats de l'essai de capillarité d'absorption

Echantillon	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	C
1	3328,1	3382,6	6,50
2	3331,1	3380,0	5,88
3	3275,0	3327,8	6,32
4	2370,5	3315,7	5,48
5	3293,8	3347,4	6,49
Moyenne			6,134

D'après le résultat trouvé la valeur tolérée du coefficient de capillarité en brique creuse est  $C = 6.134\% < 15\%$  (selon le DTR c2-45)

Notre brique ne présente pas une grande quantité d'absorption d'eau.

### 3.2.2 Le sable

Pour les besoins de notre étude, nous avons utilisé le sable concassé provenant de la carrière ENG (Sidi el Abdelli-Tlemcen).

Nous avons utilisé 2 types de sable

#### **Le sable naturel :**

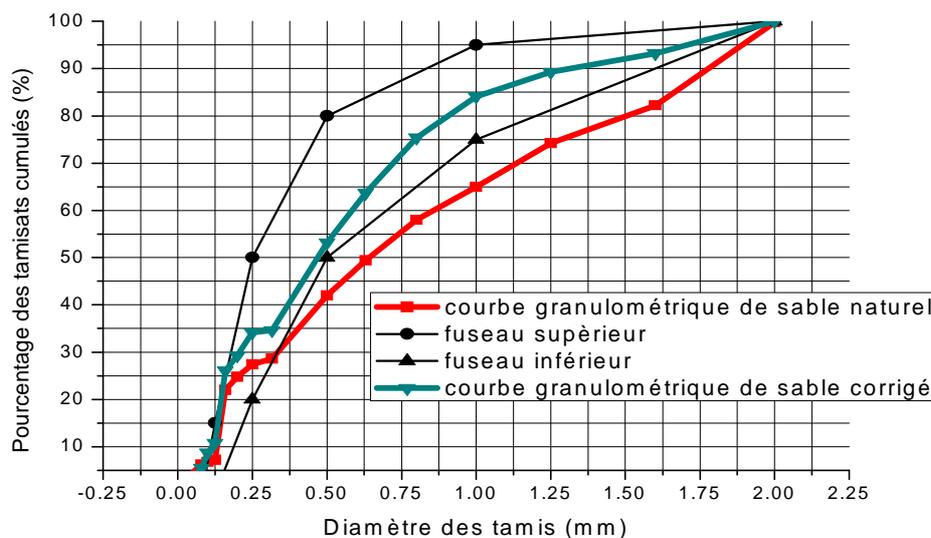
On a étuvé pendant 24h ensuite on l'a tamisé à 2 mm

#### **Le sable corrigé :**

Ce sable est un mélange de sable (1/2 (sable de tamis 2mm) + 1/2 (de sable de tamis 1mm)).

### - Analyse granulométrique par tamisage NA2607

Les courbes granulométriques correspondant des deux sables sont représentées dans la figure suivante :



**Figure3.5 :** Courbe granulométrique de sable naturel et corrigé

La courbes granulométriques (3.5) montre clairement que les sables (naturel et corrigé) ont des granulométries différentes.

-les deux courbes sont continuées.

- sable corrigé :  $M_f=1.86$  (sable fin)

- sable naturel :  $M_f= 2.26$  (sable préférentiel)

On remarque que les deux types de sable utilisé, présente un module de finesse acceptable pour la confection des mortiers de jointements

### Masses volumiques (apparent et absolus) NA451

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant

**Tableau 3.4** : Caractéristique physique de sable

	$M_{app}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_{abs}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Le sable naturel	1434	2608
Le sable corrigé	1358	2668

D'après le tableau (3.4) les résultats obtenus sont conforme par rapport a la norme NA451

### Equivalent sable NA 455

Le tableau (3.5) regroupe les résultats trouvés pour les deux sables.

**Tableau 3.5** : Le pourcentage propreté du sable

	Le sable naturel	Le sable corrigé
<b>Equivalent de sable (ES)%</b>	54	39

D'après le tableau (3.5) les deux types de sable sont propres avec un risque de présence de fine d'argile.

Pour cela, Nous avons réalisé l'essai de bleu de méthylène NA 1948 (figure 3.6) pour vérifier la présence d'argile dans le sable.



**Figure 3.6:** Essai de bleu méthylène.

On a trouvé pour le sable naturel 0.057 et le sable corrigé 0.105 donc pas de risque présence d'argile selon le tableau (3.6)

**Tableau 3.6:** Valeur du bleu du méthylène et Nature du sol

< 0,2	Sols sableux
0,2 – 2,5	Sols limoneux
2,5 – 6	Sols limoneux-argileux
6 – 8	Sols argileux
> 8	Sols très argileux

### 3.2.3 Le ciment

Le ciment utilisé est un CPJ CEM II/ A 42.5 provenant de la cimenterie de Beni Saf. ces caractéristiques sont les suivantes :

**Tableau 3.7 :** Caractéristique physique du ciment

Le ciment CPJ 42.5	
$M_{V\text{ APP}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1001
$M_{V\text{ ABS}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	3025

### 3.2.4 La chaux.

On a utilisé la chaux hydraulique provenant de l'usine hssasna de wilaya Saida, sa masse volumique apparente est de 419 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.5 Eau de gâchage

Pour la confection du mortier ou des murets, nous avons utilisé l'eau distribuée par le réseau du service public de la Daïra de Chetouane appartenant à la ville de Tlemcen (Algérie).

Les résultats de l'analyse chimique des eaux sont présentés dans le tableau suivant

**Tableau 3.8 :** Composition de l'eau de gâchage (mg/l) [MORO,2012]

Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	PH	T(°C)
74.4	49	40	5	95	170	300	42.3	7.5	17.1

## 3.3 - confection du mortier

### 3.3.1 Composition du mortier utilisé

Nous avons utilisé un seul type de mortier « le mortier bâtard» (1C : 2CH : 9S) pour la fabrication des panneaux de maçonnerie.

**N.B :**

1 :2 :9 : 1 volume de ciment, 2 volumes de la chaux et 9 volumes de sable

### 3.3.3. Procédures d'essai

Le principe de confection est rendre les compositions du mortier ensemble à l'aide de malaxeur pour former une pâte homogène de consistance normale

On verse dans le moule 4 x 4 x 16 cm (figure 3.7)

On subit une série de vibration sur la table chocs (figure 3.8) puis faire de surface du mortier  
Après démoulage des éprouvettes à 24heures et la conservation dans l'eau jusqu'à l'essai de rupture



**Figure 3.7 :** Moule et éprouvette de mortier



**Figure 3.8 :** Dame à choc

### **3.3.4 Détermination la consistance normale NA229**

#### **a) RAPPORT E/L**



**Figure 3.9 :** La consistance normale

Nous avons étudié des mortiers confectionnés de deux sables, le tableau (3.9) est regroupée les résultats suivantes :

**Tableau 3.9 :** Formulation du mortier utilisé

	Le ciment (g)	La chaux (g)	E/liant
Le sable naturel	120	100.56	1.17
Le sable corrigé	120	100.56	1.11

### 3.3.5 Les caractéristiques mécaniques du mortier

La résistance de compression du mortier est le critère qui donne la perfection de résistance principal pour choisir le type de mortier.

Nous avons déterminé les résistances mécaniques à l'âge 28 jours.

#### a) Les essais réalisés sur le mortier

Les essais de traction par flexion et de compression, sont menés de façon successive sur les éprouvettes. C'est-à-dire qu'une éprouvette est d'abord testée en traction par flexion, puis, après rupture, les deux parties de l'éprouvette sont testées en compression.

Le premier essai est réalisé selon le principe de flexion trois points, comme présenté (figure 3.11). (3.12)

L'essai est conduit jusqu'à rupture, on obtient la contrainte de rupture dite de traction par flexion avec l'expression suivante :

$$R_f = \frac{3F_l \cdot l}{2b^3}$$

Où :

$R_f$  : résistance de mortier en traction à la flexion.

$b$  : largeur de l'éprouvette.

$F$  : la force appliquée.

$l$  : longueur de l'éprouvette

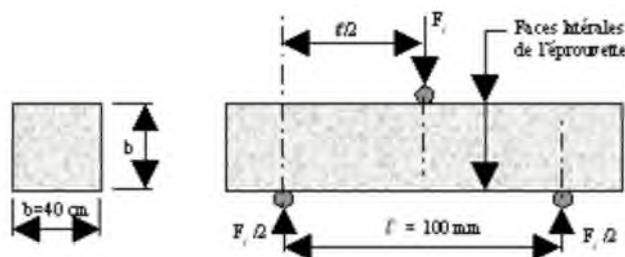
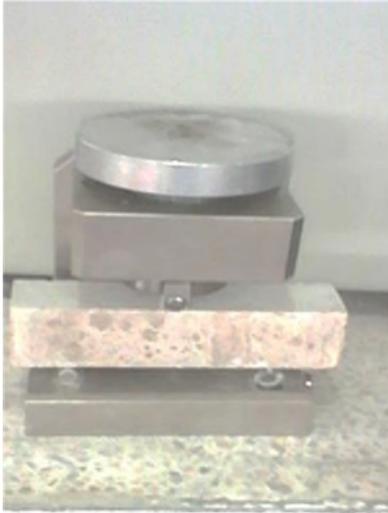


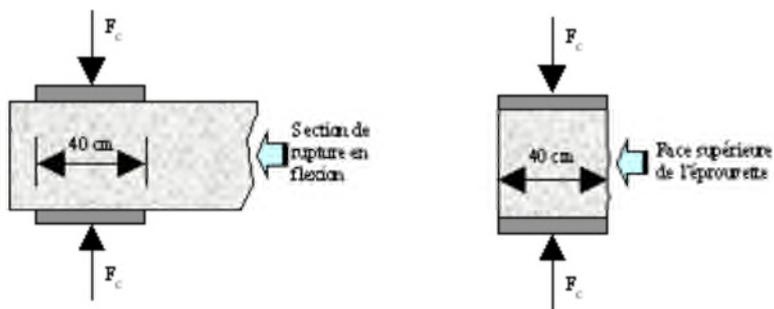
Figure 3.10 : Schéma identifie la dimension réelle de l'essai.



**Figure 3.11:** Essai de flexion par traction



**Figure 3.12 :** Essai de compression



**Figure 3.13 :** Schéma identifié l'essai de compression et leurs dimension

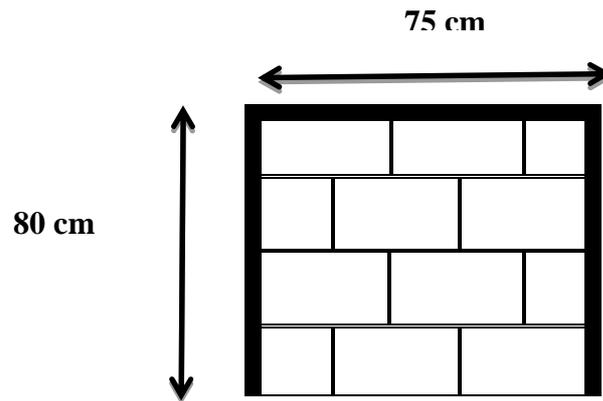
Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant

**Tableau 3.10 :** Les résultats pour l'essai de compression et de flexion.

	Sable naturel	Sable corrigé
<b>Compression( MPa)</b>	3,906	4,239
<b>Flexion par traction (MPa)</b>	1,796	2,109

### 3.4 Confection du muret

Nous avons confectionnés 18 murets pour notre étude expérimentale avec des règles de l'art au laboratoire de Structure de la faculté de technologie  
 Les dimensions sont (Lx h x l) (75x80x09) cm<sup>3</sup>



**Figure 3.14** : Les dimensions de muret

### 3.4.1 Matériel utilisé

Le matériel utilisé pour la confection des murs est le suivant (figure 3.1, 3.16, 3.17) : truelles, jauge, fil à plomb, niveau, scie à béton et transpalette.



**Figure 3.15** : Les outils utilisés



**Figure 3.16** : Scie à Béton



**Figure 3.17** : Transpalette

### 3.4.2 Planning de confection du muret

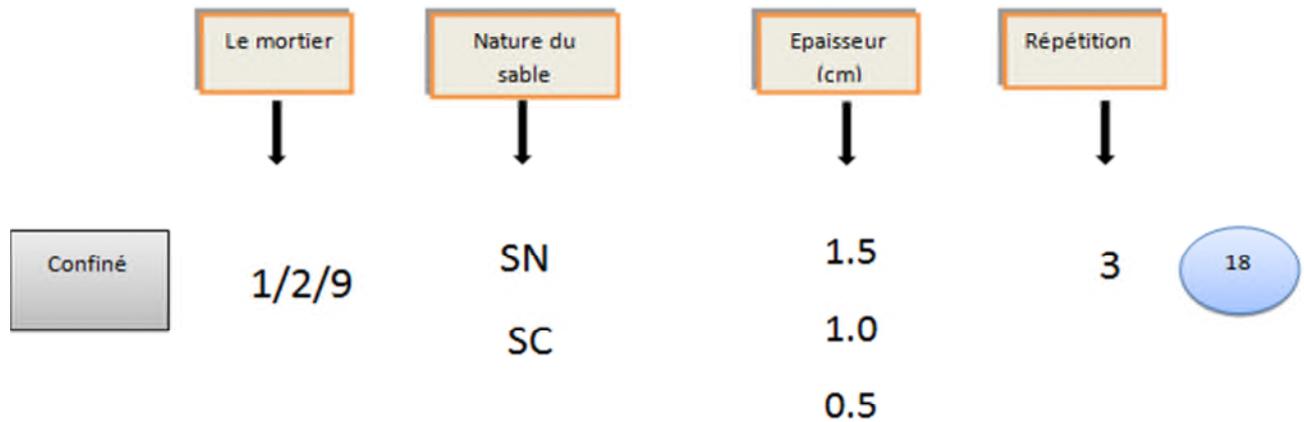


Figure 3.18 : Organigramme des essais sur les murets

### N.B

S1 : sable naturel.

S2 : sable corrigé.

### 3.4.3 Méthodologie de la confection des murets

Un dispositif a été réalisé pour la confection des murets, afin de respecter la planéité (voir la figure 3.19). Les opérations suivies sont :

1. Les briques ont été découpées au laboratoire avec la scie à béton. Et mouiller préalablement les briques ou blocs, pour éviter l'absorption de l'eau du mortier pendant la réalisation de la maçonnerie,
2. Placer le fil avant la disposition des blocs en maçonnerie (figure 3.19),
3. Etaler le mortier suivant l'épaisseur et ce à l'aide de différents gabarits fixant ainsi les Dimensions du joint (figure 3.20),
4. Vérifier la planéité du mur avec la règle en bois et le fil à plomb, voir figure (3.21)
5. Après 24 h, effectuer un surfacage (figure 3.22 et 3.23) avec un mortier en ciment 1 : 2,
6. Les murets sont ensuite transportés et stockés (figure 3.24) .
7. L'écrasement est effectué, après 28 jours de cure, aux conditions du laboratoire.



Gabarit

Figure 3.19 : disposition de confection



**Figure 3.20 :** Etalement du mortier



**Figure 3.21 :** Vérification la planéité



**Figure 3.22:** Le surfaçage vertical



**Figure 3.23 :** Le surfaçage horizontal.



**Figure 3.24:** Période de cure

## DISPOSITIF D'ESSAI

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

- Un portique de 1.5 m x 1.7 m (figure 3.25)
- Un vérin de 160 KN de capacité (figure 3.25)
- Un système hydraulique (figure 3.27)
- Un système d'acquisition des données (figure 3.28)
- Barres de transmissions des charges (figure 3.26)
- Capteur de déplacement.
- Un ordinateur Pentium II.
- Un logiciel pour le traitement des données.

### Principe de l'essai

Les efforts sont transmis par des barres de transmissions (figure 3.26). Des plaquettes d'appui assurent une meilleure distribution des efforts sans aucune excentricité.

La mesure de pression, faite à l'aide d'un capteur de pression, permet de déterminer la charge appliquée par le vérin.(figure 3.25 ,3.28).

La mesure des déplacements (figure 3.25) 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.(figure 3.28) Ces derniers nous ont permis de tracer les courbes contraintes-déformations

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

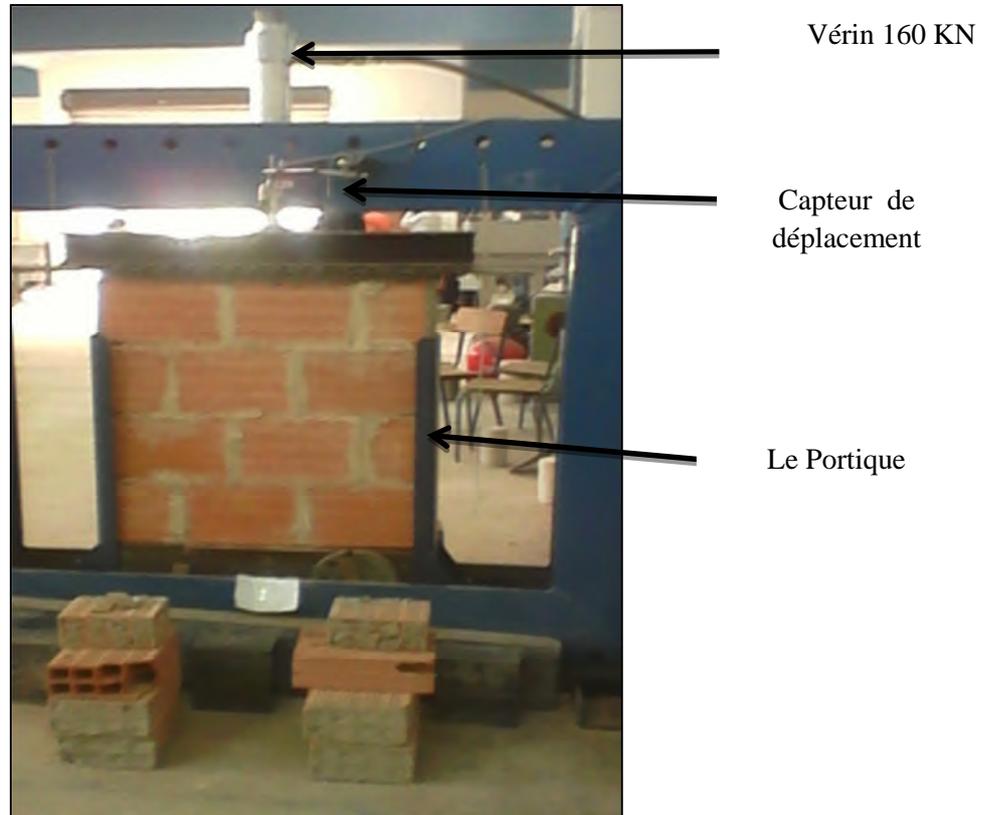


Figure 3.25 : Dispositif d'essai



**Figure 3.26 :** La barre de transmission



**Figure 3.27 :** Pompe hydraulique



**Figure 3.28 :** D'acquisition des données

### **3.6 CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons analysé expérimentalement le comportement des maçonneries Soumises a des charges uni axiales. La confection des murets tests a été réalisée selon les règles de l'art, où toutes les précautions nécessaires ont été respectées les planéités vertical et horizontale.

Ces analyses ont donné une vue globale sur le comportement des murs à la compression.

## **Chapitre 04**

# **Discussion et interprétation des résultats**

### **4.1 Introduction**

Dans ce chapitre sont présentés les résultats du programme expérimental sur des murets en brique de terre cuite, soumise à une sollicitation uni axiale confiné après 28 jours de cure dans les conditions du laboratoire.

Les résultats relatifs à la maçonnerie sont les principaux sujets discutés dans ce chapitre en décrivant les différents modes de rupture et en montrant l'influence des paramètres suivants :

- Nature du sable
- la variation de l'épaisseur du joint de mortier

Aussi, une comparaison a été faite avec les formules empiriques

Enfin, une discussion sur les critères de performance de la maçonnerie sous chargement uniaxiale ‘ en compression’.

#### 4.2 Résistances à la compression des murets

Nous présentons dans Le tableau (4.1) les résultats des essais d’écrasement des murets en briques de terre cuite creuses confinés,

**Tableau 4.1** : Les résistances à la compression des murets confinées à 28 jours.

Nature du Mortier	Epaisseur du joint (mm)	Charge (KN)	Résistance (N/mm <sup>2</sup> )	Ecart - type	Pourcentage d’erreur %	Moyenne (N/mm <sup>2</sup> )	Déformation	Moyen	
MN*	05	A	48.96	0.75	0.22	10.40	<b>0.87</b>	4,296 .10 <sup>-3</sup>	<b>8.865.10<sup>-3</sup></b>
		B	48.76	0.74		14		0.0109	
		C	74.27	1.13		31.3		0.0114	
	10	A	67,58	0.99	0.38	13.38	<b>1,13</b>	7.388.10 <sup>-3</sup>	<b>4.902.10<sup>-3</sup></b>
		B	32,66	0.5		55.75		5.189 10 <sup>-3</sup>	
		C	87,66	1.27		12.38		2.131 10 <sup>-3</sup>	
	15	A	84.29	1.10	0.23	5.76	<b>1.04</b>	2.65.10 <sup>-03</sup>	<b>6.445 10<sup>-3</sup></b>
		B	87.39	1.24		19.23		9.961.10 <sup>-03</sup>	
		C	51.4	0.78		25		6.726.10 <sup>-03</sup>	
MC*	05	A	48,78	0.76	0.06	2.7	<b>0,74</b>	0.0132	<b>0.0186</b>
		B	41,34	0.65		12.16		0.0284	
		C	51,2	0.8		7.6		0.0142	
	10	A	54,58	0,84	0.26	20.75	<b>1,05</b>	0.0161	<b>0.0105</b>
		B	61,38	0,95		10.37		0.00797	
		C	89,6	1.35		30.18		7.5*10 <sup>-3</sup>	
	15	A	93,68	1.28	0.34	45.45	<b>0.88</b>	0.0121	<b>0.0149</b>
		B	50,48	0.67		23.86		0.0169	

		C	50,58	0.68		22.72		0.0158	
--	--	---	-------	------	--	-------	--	--------	--

**MN** : mortier naturel.

**MC** : mortier corrigé.

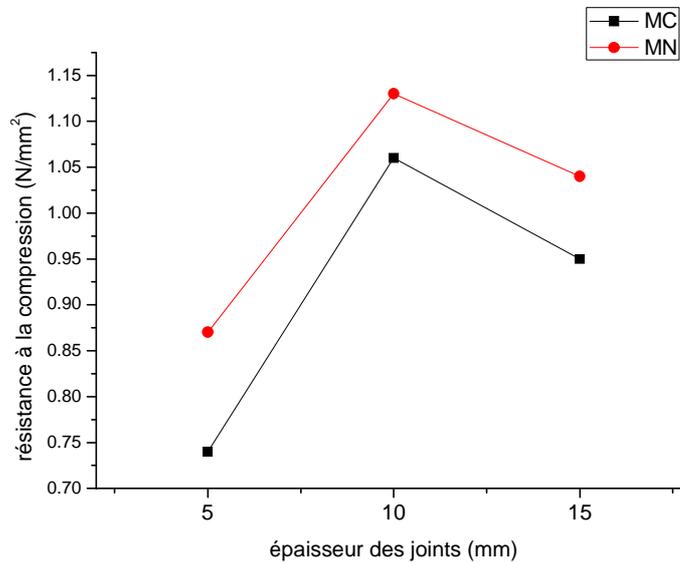
### 4.3 Influence de l'épaisseur du joint

La figure (4.1) montre l'influence de l'épaisseur du joint utilisé sur la résistance de la maçonnerie

Nous constatons que :

- L'épaisseur du joint de mortier de 10 mm offre la meilleure résistance à la compression.

Un joint plus mince diminue la résistance de la maçonnerie, ceci s'explique par une concentration des efforts de traction dans le mortier, Ceci a été confirmé par les travaux de Houti et col [Houti, 2002] et Hendry [Hendry, 1978].

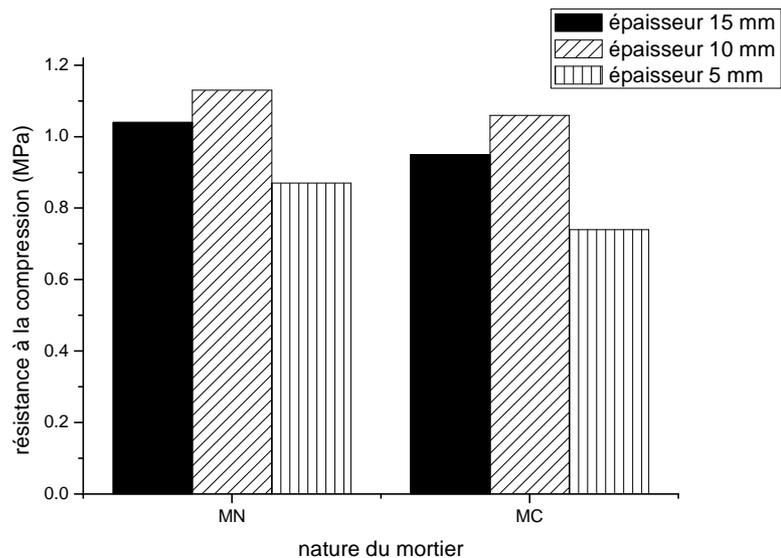


**Figure 4.1** : Influence de l'épaisseur des joints de mortier sur la résistance de la maçonnerie.

### 4.4 Influence de la nature du mortier

La figure (4.2) montre l'influence de la nature de sable sur le comportement de la maçonnerie.

Les sables fin dont le module de finesse et petit diminuent la résistance mécanique de la maçonnerie



**Figure 4.2 :** Influence de nature du mortier sur la résistance de la maçonnerie confinée.

La présence des éléments fins en grande quantité a une influence négative sur la résistance mécanique parce qu'ils absorbent une quantité non négligeable d'eau de gâchage,

#### 4.5 Les modes de rupture :

Nous avons constaté 4 modes de rupture au cours des essais que nous avons réalisés sur les 18 murets testes

Mode 1 : la fissure parallèle à la direction de la charge (figure4.3)

Mode 2 : la rupture par éclatement du bloc en brique généralement le bas du muret (figure4.4)

Mode 3 : par dégradation sur des joints de mortier (figure 4.5)

Mode4 : la rupture par éclatement du bloc supérieur (figure 4.6)





**Figure 4.3 :** La fissure parallèle à la direction de la charge (mode 1)



**Figure 4.1 :** La rupture est éclatement de la brique



**Figure 4.3 :** la rupture par dégradation sur des joints de mortier



**Figure 4.5 :** Rupture par éclatement du bloc supérieur

Les modes de rupture observés pour les murets testés sont pratiquement les mêmes.

On a observés les mêmes modes de rupture que ceux cités dans la littérature (la fissuration est parallèle à la charge de compression), HOUTI (2002), PAGE (1978) et SHAAN 1987

#### 4.6 Comparaison avec les formules empiriques

Nous avons calculés des valeurs de résistance à la compression, selon les formules empiriques présentées dans le chapitre2, pour faire une comparaison avec nos résultats expérimentaux.

Nous présentons dans le tableau (4.2) les résultats de calcul de résistance.

**Tableau 4.2 :** Comparaison avec les expressions empiriques.

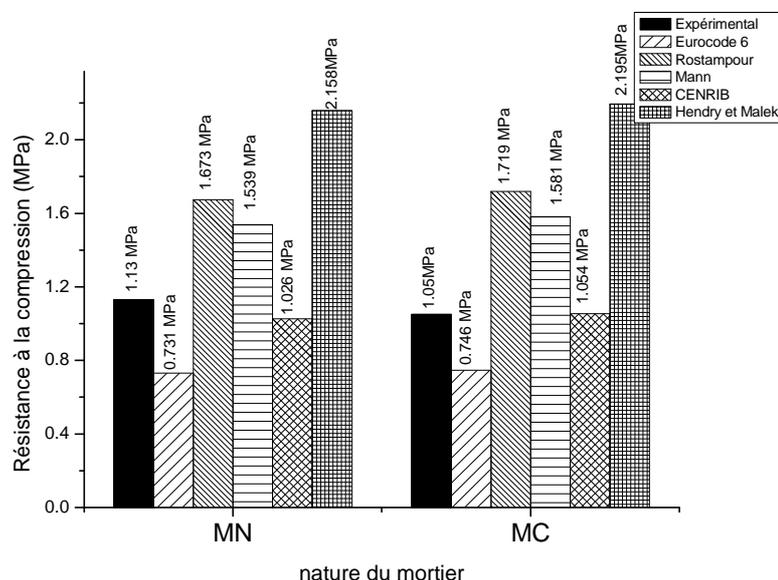
	Le mortier naturel MN (MPa)	Le mortier corrigé MC (MPa)

<b>Etude expérimentale (MPa)</b>	<b>1.13</b>	<b>1.05</b>
<b>Eurocode 6(2.1)</b>	<b>0.731</b>	<b>0.746</b>
<b>Rostampour (2.2)</b>	<b>1.673</b>	<b>1.719</b>
<b>Mann (2.3)</b>	<b>1.539</b>	<b>1.581</b>
<b>CNERIB (2.4)</b>	<b>1.026</b>	<b>1.054</b>
<b>Hendry et Malek (2.5)</b>	<b>2.158</b>	<b>2.195</b>

D'après les résultats trouvés dans le tableau (4.2)

- ✓ nous remarquons bien que nos résultats sont supérieurs à ceux de l'Eurocode 6, généralement l'eurocode6 sous-estime la résistance à la compression, ce qui est confirmé par les travaux de HOUTI [HOUTI, 2002], de MEZIANE [MEZIANE, 2004] et aussi les travaux de BOUAKKAZ et BENNACEUR [BOUAKKAZ et BENNACEUR ,2007].
- ✓ nous observons une certaine concordance avec les formules du CNERIB [DTR.C2-45].
- ✓ En ce qui concerne les autres formules empiriques il y'a une certaine différence.

L'histogramme suivant (figures 4.6) présente une comparaison entre nos résultats expérimentaux et empiriques.



**Figure 4.6:** Histogramme de comparaison nos expérimentale avec les expressions empiriques

En comparant nos résultats avec les travaux de BENNACEUR et BOUAKKAZ (2007) qui ont testés des murets en parpaings confinés, nous constatons que les murets en brique (1.13 MPa) sont inférieurs à ce qu'ils ont trouvés (1.33 MPa), ceci a été confirmé par les travaux réalisés par Houti et col (2002).

**Le critère de performance est :**

- mouillage des briques
- une bonne qualité des briques
- la rapidité de travail
- bien remplir les joints

#### **4.7 Conclusion**

Notre étude expérimentale a bien montrée l'efficacité de l'étude du comportement réel de la maçonnerie en appliquant la charge uniaxiale confinée.

Nous avons remarqué que l'épaisseur du joint de mortier à une influence sur les résultats, une épaisseur de 10 mm a présenté la meilleure résistance sous chargement de compression pour les deux type de mortier étudié, de plus le sable présentant un petit module de finesse influe négativement sur la résistance de la compression de la maçonnerie.

En concordance avec la littérature, nous avons observé pratiquement les mêmes modes de rupture

## **CONCLUSION**

Notre travail dans ce mémoire est l'étude expérimentale du comportement des panneaux en maçonneries en brique de terre cuite creuse soumise à une sollicitation uniaxiale confiné jusqu'à la rupture

Ce mémoire comporte deux parties : une à caractère bibliographique, et l'autre à caractère expérimentale.

-L'étude bibliographique réalisée en premier lieu dans ce mémoire présente les différents types des maçonneries et aussi un état de l'art sur les travaux réalisés concernant la maçonnerie soumise a la compression.

-L'approche expérimentale a été réalisée à l'aide d'un essai d'écrasement confiné jusqu'à la rupture.

Notre étude expérimentale a bien montrée l'efficacité de l'étude du comportement réel de la maçonnerie en appliquant la charge uniaxiale confinée.

Nous avons remarqué que l'épaisseur du joint de mortier à une influence sur les résultats, une épaisseur de 10 mm a présenté la meilleure résistance sous chargement de compression pour

les deux type de mortier étudié, de plus le sable présentant un petit module de finesse influe négativement sur la résistance de la compression de la maçonnerie.

En concordance avec la littérature, nous avons observé pratiquement les mêmes modes de rupture, la fissuration est parallèle à la charge de compression, HOUTI (2002), PAGE (1978) et SHAAN 1987

En comparaison nos résultats obtenus avec ceux des expressions empiriques, que nos résultats sont supérieurs à ceux de l'Eurocode 6, généralement l'eurocode6 sous-estime la résistance à la compression, ce qui est confirmé par les travaux de HOUTI [HOUTI, 2002], une certaine concordance avec l'expression du CNERIB, et une certaine différence en ce qui concerne les autres formules empiriques.

### **Recommandation pour les travaux futurs**

- Répétition des travaux avec variation
  - l'épaisseur des joints
  - nature du sable
  - nature des blocs
  - dosage des liants
- adition d'autres substitutions dans le mortier (polymères, latex, les fibres, les resins...
- maçonnerie armé
- étudié la maçonnerie en biaxiales.

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Alix GRANDJEAN.A** « Capacité portante de ponts en arc en maçonnerie de pierre naturelle - Modèle d'évaluation intégrant le niveau d'endommagement » école Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 2010, 292p.

**Bennaceur .N et Bouakkaz M.A** « comportement des murs en maçonnerie confinés sous sollicitation uniaxiale » mémoire ingénieur, université de Tlemcen, 2002, 68p

**Beth.M** « Module Maçonnerie» (Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie, Technique dite en terroir,2006, 60p

**Bezzar.A et Bendeddouche .K** « Comportement de la maçonnerie et modélisation numérique » mémoire ingénieur, université de Tlemcen, 1997, 141p

**Boukhatem .F et Fergani I M.A** « Etude Expérimentale du Recyclage des Débris de Maçonnerie : dans Les Mortiers de Ciment » mémoire ingénieure, Ecole Nationale Polytechnique ENP, Alger, 2006, 67p

**Brigaux . G.** « La maçonnerie », Traité du Bâtiment, Editions Eyrolles,1976

**Cherait.Y et Nafa .Z** « Elément de matériaux de construction et essais » Guelma ,2006,1-123p ,ISBN 9961-9548-7-4

**DTR.C2-45** « Règles de conception et de calcul des maçonneries », Document Technique Réglementaire, CNERIB, Alger,2005 .

**EUROCODE6** « Design of masonry structures », Part 1-1: Rules for reinforced and unreinforced masonry,1996

**Lagier.F et Augustin P.F** « Les murs en maçonneries » lycée du B.T.S, 2006, Paris.

**FOUCHAL .F** « Contribution à la modélisation numérique des interfaces dans les structures maçonnées » Université de Reims Champagne-Ardenne, Thèse Doctorat, 2006, p196.

**Hendry A.W** « Masonry walls: materials and construction Construction and Building Materials »15(2001), pp.323-330.

**HENDRY A.W. and MALEK M.H** « Characteristic compressive strength of brick work from collected test results », Masonry International, 1986, 15-24p.

**HENDRY A.W. et MALEK M.H** « Compressive strength of brickwork masonry under concentrated loading », Preceding British masonry Soc., N°2, 1988, 56-60p.

**HIDALGOC.I** «Analyse comportementale aux éléments finis de la maçonnerie en tant que revêtement des tunnels anciens. Application à la construction des niches de protection de personnel »thèse, Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins Canals i Ports de Barcelona ,2007, 179p.

**HOUTI F.B** « comportement des murs en maçonnerie sous sollicitation uniaxiales » thèse magister, université de Tlemcen, 2002, 65p

**HUMBAIRE J. L** « Technologie de la maçonnerie » article technique de l'ingénieur,1979

**Koufache N, Kesteloot S, Djelal Ch, Delfabro JM, Benslimane I** « Renforcement des ouvrages d'assainissement en maçonnerie à l'aide de matériaux composites – Etat del'art»25e rencontrent de l'AUGC, 23-25 mai Bordeaux,2007.

**Laboratoire Régional de l'Equipement de Saint-Brieuc** « Surveillance, auscultation et entretien des ouvrages maritimes. Fascicule 1 : Ouvrages en maçonnerie ,1994

**LAFUENTE.M, GENATIOSIMME.C** « Etudes analytiques sur le comportement de murs en maçonnerie sous sollicitations latérales monotones » Facultad de Ingenieria, UC V, Apartado 50361, Caracas 1050A, Venezuela, 1993, 378-394p

**LATEB .M** « Calcul de la capacité portante des murs en maçonnerie de petits element sous charges verticales, thèse doctorat, l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, pp 171 maçonnerie en vue de leur renforcement par des composites collés » DOCTEUR ,université de PARIS-EST, p225 ,Paris 225p

**MANN. W** « Statistical evaluation of tests on masonry by potential functions », Proceeding of the sixth International Brick Masonry Conference, Rome,1982.

**MERZOUD .M, HABIT.A et coll** « Effets négatifs des remplissage en maçonnerie de faible résistance dans les structure soumises aux séisme » Université Annaba

**MEZIANE A.S** « Influence du joint sur la résistance des maçonnerie en blocs de béton » mémoire ingénieur, université de Tlemcen, 2004 ,83p

**MEZIGHECHE.N** « Comportement des remplissages dans les structures sous differentes sollicitations : cas de la maçonnerie» mémoire magister ,université Annaba,2010 174p

**MORO R.F** «Approche de performation pour la durabilité des bétons exposes à la carbonatation » mémoire magister, université Tlemcen , 2012,100p

**MOUNAJED. G**« La modélisation de la maçonnerie armée par la méthode des éléments finis : Application aux maçonneries de petits éléments creux », Thèse Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées,, France,1992, 179p.

**PUME .D**« Stress-strain relationships of masonry made from Czech clay units produced between 1955 and 1992 », computer methods in structural masonry-4, edited by PANDE G.N.,MIDDLRTON J. and KRALJ B., E & FN Spon, London,1998.

**ROSTAMPOUR. M** « Aspect of the design of multi-storey building in light-weight concrete blockwork », PhD Thesis, University of Edinburgh,1973 .

**SAHLAOUI.R** « Analyse par le calcul à la rupture calcul à la rupture des murs en maçonnerie en vue de leur renforcement par des composites collés » docteur université Paris Est , Paris , 2011, 225p.

**SAHLIN. S** « Structural Masonry Prentice Hall », New Jercey ,1971 ,p290.

**STABLON.T** « Méthodologie pour la requalification des ponts en maçonnerie » ,thèse doctorat, université de Toulouse, 2011, 194p.

**STRAFFORD S.B. et RAHMAN K.M.K.** « The variation of strength of brickwork invertically loaded brick walls », Vol 43 N°1 , London,1972, 687-700p

**TAN TRUNG.B** « Etude expérimentale et numérique du comportement des voiles en maçonnerie soumis à un chargement hors plan » thèse doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon ,2013 ,

**ZUCCHINI u.A et LOURENCO P.B** «Mechanics of masonry in compression: Results from a homogenisation approach» Computers and Structures ,2007, 85 193–204p

