

## Chapitre 5

## RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des différents essais réalisés sur les murets en brique de terre cuite creuse, en bloc de béton « parpaing » et en brique silico-calcaire pleine. Une comparaison a été faite avec des formules analytiques et empiriques. Les différentes courbes contraintes-déformations sont présentées et nous montrons l'influence de chaque paramètre sur le comportement de la maçonnerie. Aussi, une comparaison a été faite avec les travaux de Hakimi et col. [Hakimi et col, 1998] réalisés au CNERIB.

## 5.1 RESISTANCE DES MURETS TESTÉS

Nous présentons sur les tableaux 5.1, 5.2, 5.3 et 5.4 les résultats respectifs des essais d'écrasement des murets en briques de terre cuite creuses, en blocs de béton « parpaing » et en silico-calcaire.

	Nature du mortier	Epaisseur = 0.5 cm			Epaisseur = 1.0 cm			Epaisseur = 1.5 cm		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$
Contrainte de rupture (MPa)	Ciment	1.758	1.598	1.203	-	1.744	1.353	-	1.677	1.332
	Bâtard	1.346	1.249	0.983	1.722	1.353	1.206	1.556	1.377	1.193
Déformation ( $10^{-3}$ )	Ciment	0.784	0.678	1.307	-	0.784	0.877	-	0.642	0.570
	Bâtard	0.769	0.826	0.376	0.843	1.082	0.363	0.557	0.502	0.707

Tableau 5.1 Résultats des murets en brique en terre cuite creuse

	Nature du mortier	Epaisseur = 0.5 cm			Epaisseur = 1.0 cm			Epaisseur = 1.5 cm		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$
Contrainte de rupture (MPa)	Ciment	1.788	1.219	0.942	-	1.699	1.398	1.939	1.807	1.344
	Bâtard	1.123	1.022	0.688	1.475	1.393	1.053	1.419	1.387	0.968
Déformation ( $10^{-3}$ )	Ciment	0.673	0.334	0.581	-	0.766	0.655	0.746	0.518	0.773
	Bâtard	1.168	0.415	1.287	0.883	0.613	0.859	0.428	0.551	0.515

Tableau 5.2 Résultats des murets en parpaing

	Nature du mortier	Épaisseur = 0.5 cm			Épaisseur = 1.0 cm			Épaisseur = 1.5 cm		
		$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=90^\circ$
Contrainte de rupture (MPa)	Ciment	7.895	6.491	9.629	7.006	5.190	8.647	6.092	2.863	6.128
	Bâtard	4.485	1.508	5.397	4.058	1.827	4.804	3.639	1.914	4.233
Déformation ( $10^{-3}$ )	Ciment	1.159	0.909	1.401	1.194	1.037	1.532	0.826	0.808	1.196
	Bâtard	0.826	0.916	1.118	1.333	0.723	0.689	1.139	0.605	1.008

**Tableau 5.3** Résultats des murets en briques silico-calcaire (modèle réduit)

	Charge de rupture (MPa)	Déformation ( $10^{-3}$ )
Mur a ( figure 4.5a )	5.093	0.767
Mur b (figure 4.5b )	3.781	1.071

**Tableau 5.4** Résultats des murets en Epi

Au vu de ces résultats, nous traçons respectivement sur les figures de 5.1 à 5.10, l'influence sur la résistance des murets testés de :

- L'épaisseur du joint,
- L'orientation de la charge par rapport au joint,
- La nature du joint.

### 5.1.1 Influence de l'épaisseur du joint

Les figures 5.1, 5.2 et 5.3 montrent l'influence de l'épaisseur du joint de mortier sur la résistance de la maçonnerie.

- L'épaisseur du joint de mortier de 1.0 cm offre la résistance à la compression optimale pour le cas des murets en briques de terre cuite creuses et les blocs de béton « parpaing ». Un joint plus mince diminue la résistance de la maçonnerie, ceci s'explique par une concentration des efforts de traction dans le mortier. Aussi, un joint plus épais soumettrait la brique à plus forte concentration de traction. Ceci a été confirmé par les travaux de Rochet [Rochet, 1985] et de Djaalali et col. [Djaalali et col, 1996].
- Par contre dans le cas des murets en briques silico-calcaire (modèle réduit), la résistance à la compression augmente lorsque l'épaisseur diminue. Ceci a été confirmé par les expressions analytiques [Delmotte et col, 1992]. Dans ce cas, l'épaisseur du joint de mortier de 0.5 cm a présenté les plus grandes résistances à la compression.

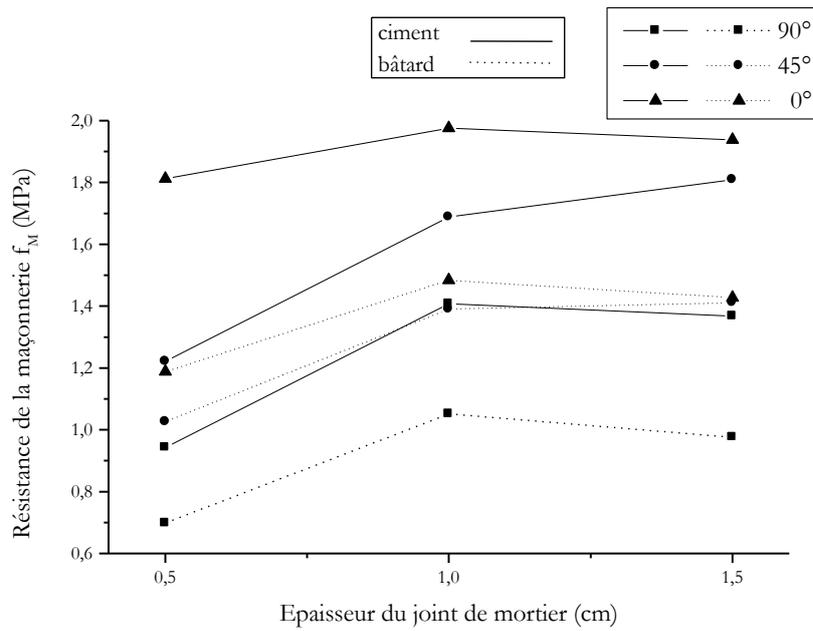


Figure 5.1 Influence de l'épaisseur des joints de mortier sur la résistance de la maçonnerie en parpaing

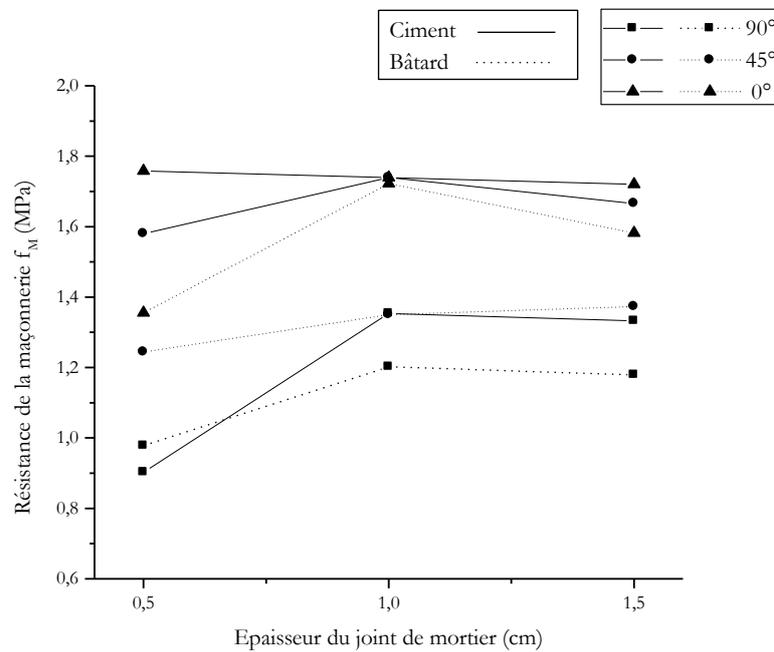
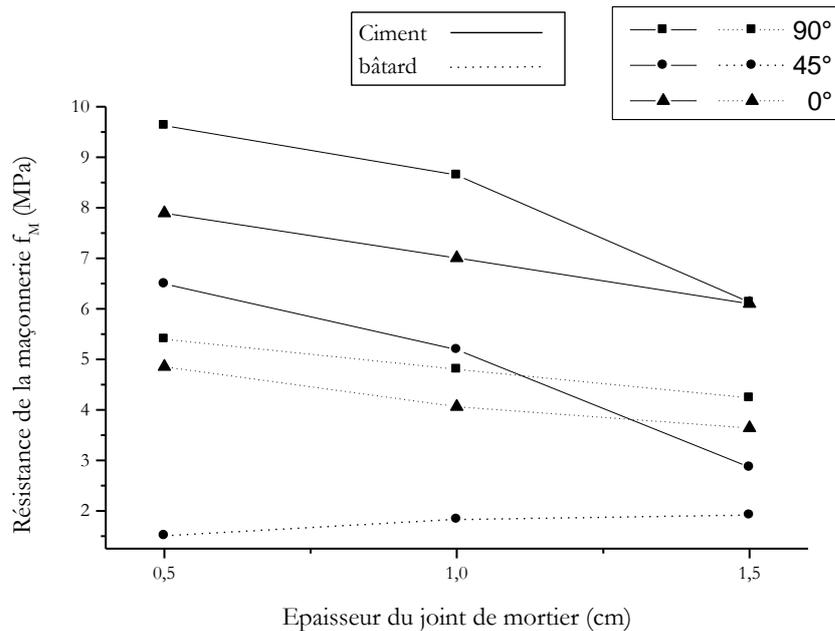


Figure 5.2 Influence de l'épaisseur des joints de mortier sur la résistance de la maçonnerie en brique de terre cuite creuse



**Figure 5.3** Influence de l'épaisseur des joints de mortier sur la résistance de la maçonnerie en Briques silico-calcaire

### 5.1.2 Influence de l'orientation du joint par rapport au chargement

Les figures 5.5, 5.6 et 5.7 montrent l'influence de l'orientation du joint par rapport au chargement sur la résistance de la maçonnerie.

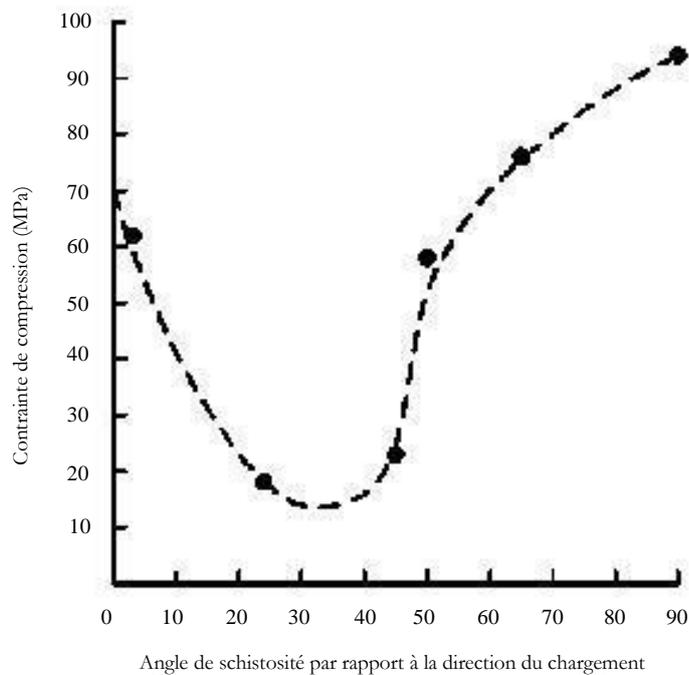
Deux cas sont à distinguer, selon toujours la nature de la brique utilisée.

- Muret en briques de terre cuite creuses et en blocs de béton « parpaing » :  
Dans ce cas, nous pouvons noter que la rigidité de la maçonnerie et sa résistance à la rupture augmentent lorsque  $\theta$  diminue de 90 à 0° (comme l'attestent les résultats de Page [Page, 1981] et Shaan et Torrenti [Shaan et col, 1990]). Ceci s'explique, dans le cas où  $\theta = 0^\circ$ , par le fait que les alvéoles de la brique sont parallèles au chargement, dans ce cas la brique creuse se comporterait comme une brique perforée, ce qui offre une meilleure résistance à la compression de la brique. Dans ce cas, les murets confectionnés à  $\theta = 0^\circ$  en brique de terre cuite creuses et en blocs de béton « parpaing » présentent une plus grande résistance à la compression par rapport aux autres orientations étudiées.
- Murets de briques en silico-calcaire (modèle réduit) :  
Contrairement aux résultats commentés précédemment, les murets réalisés en briques silico-calcaire « en modèle réduit » ont présenté de meilleures résistances pour un angle d'orientation des joints  $\theta = 90^\circ$ . Ces résultats montrent que cette différence notable pourrait être engendrée notamment par :
  - La brique étant pleine, le cas où  $\theta = 90^\circ$ , le muret se comporte comme une pièce très rigide. Alors que pour  $\theta = 0^\circ$ , les joints parallèles au chargement, constituent une zone faible apte à se rompre avant les briques silico-calcaire.

- La résistance de la brique silico-calcaire (voir tableau 4.2), dans le cas du chargement à  $90^\circ$  (19.95 MPa) est plus importante que dans le cas de  $0^\circ$  (14.66 MPa).
- La texture de la surface des briques lisse agit négativement sur l'adhérence au mortier de jointement.

En comparant nos résultats avec ceux de la mécanique des roches, pour le cas d'essais de compression uniaxiale sur une phyllite graphitique du Venezuela [Hoek, 2000] (figure 5.4), nous constatons qu'il y'a des similitudes concernant les murets confectionnés en briques de silico-calcaires

Dans le cas où  $\theta = 45^\circ$ , l'épaisseur du joint égal à 1.5 cm engendre une plus grande résistance de la maçonnerie (surtout pour les murets en briques de terre cuite creuses et les murets en parpaings). Donc, dans le cas où le joint est épais, il permet aux blocs de résister au glissement.



**Figure 5.4** Influence de la direction de chargement sur la résistance de la phyllite graphique testé par Salcedo [Hoek, 2000]

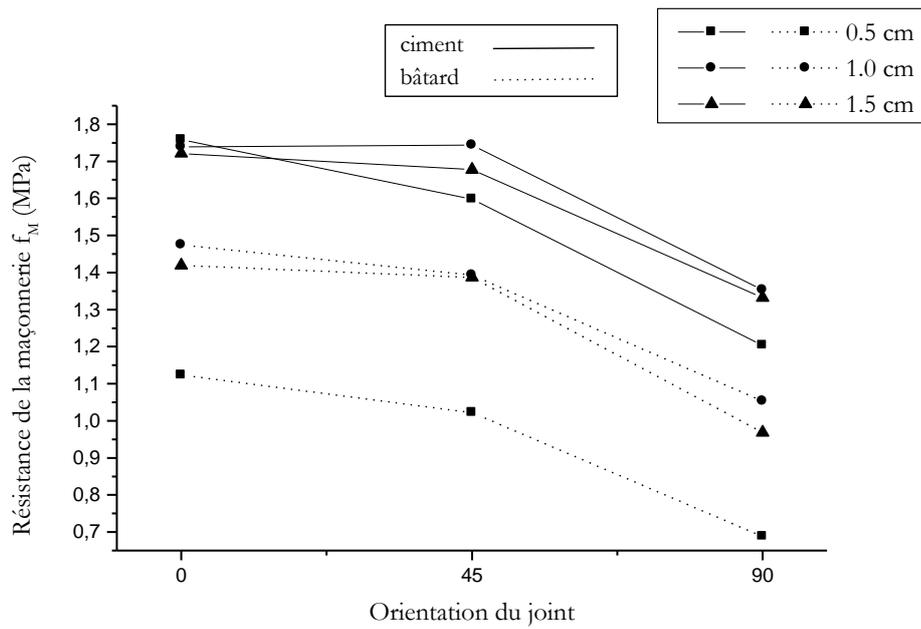


Figure 5.5 Influence de l'orientation du joint sur la résistance de la maçonnerie en parpaing

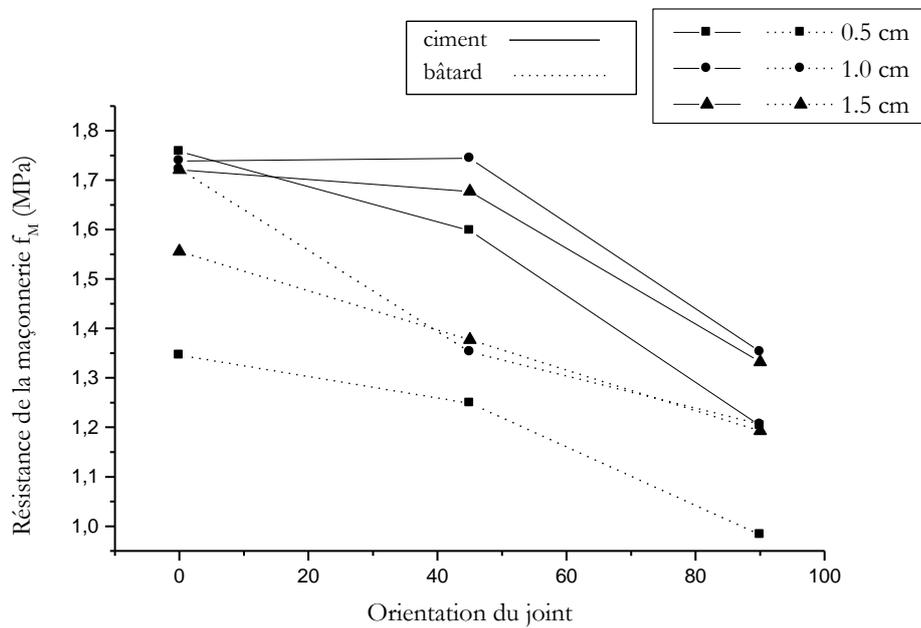
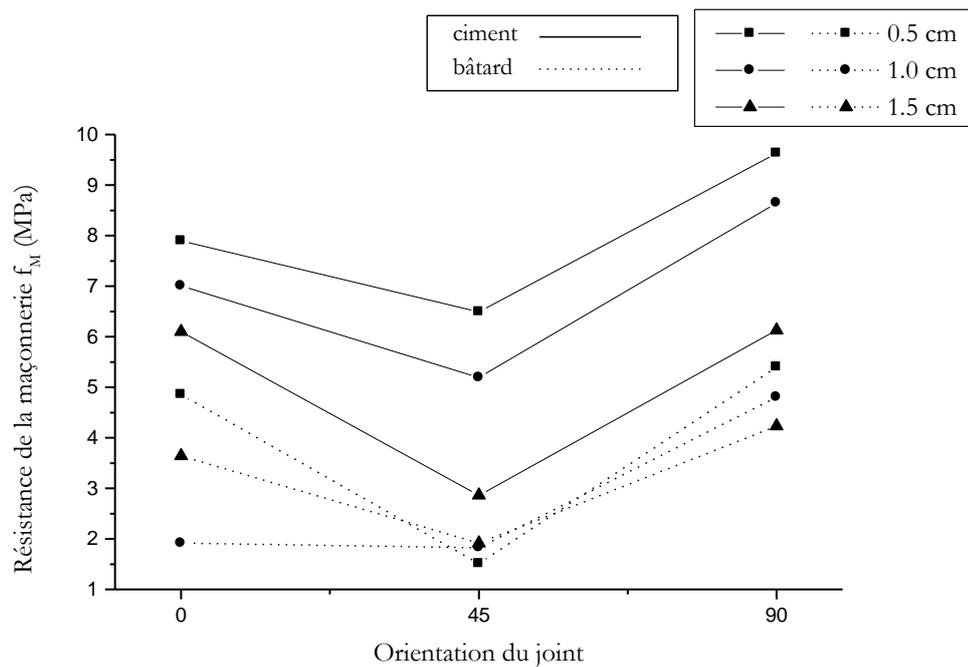


Figure 5.6 Influence de l'orientation du joint sur la résistance de la maçonnerie en brique de terre cuite creuse



**Figure 5.7** Influence de l'orientation du joint sur la résistance de la maçonnerie en silico-calcaire)

### 5.1.3 Influence de la nature du joint

Les figures 5.5, 5.6 et 5.7 montrent l'influence du type de mortier utilisé dans le joint sur la résistance de la maçonnerie

Nous constatons que :

- Pour le mortier bâtard qui est un mortier maigre, la résistance de la maçonnerie à la compression est plus faible que celle du mortier en ciment. Ceci est confirmé par les travaux de Lafuente [Lafuente, 1990] et ceux de Rochet [Rochet, 1985]. Ce qui explique les faibles résistances des murets en compression. Dans le cas des mortiers bâtard, nous remarquons que c'est le joint qui cède le premier, en effet il y'a extrusion du mortier, apparition ensuite de fissures au sein des briques.
- Pour le mortier en ciment, nous distinguons deux cas de comportement selon la nature de la brique utilisée.
  - Cas des briques en terre cuite creuses et les blocs en béton « parpaing » ( $\sigma_b < \sigma_m$ ) : Dans ce cas c'est la brique qui cède la première par apparition de fissures en son sein, c'est ce qui provoque la ruine du muret en maçonnerie.
  - Cas des briques en silico-calcaire ( $\sigma_b > \sigma_m$ ) : Dans ce cas c'est le joint de mortier qui cède le premier, ensuite il y'a apparition de concentration de traction dans les briques, se qui provoque la ruine du muret en maçonnerie.

La résistance du joint contribue à l'amélioration de la résistance de la maçonnerie. Les résultats obtenus le montrent explicitement car c'est les mortiers à base de ciment qui ont offert les meilleures caractéristiques des maçonneries testées. Ceci a été confirmé par les travaux de Rochet [Rochet, 1985].

### 5.2 COMPARAISON AVEC LES EXPRESSIONS ANALYTIQUES ET EMPIRIQUES

	Brique creuse (MPa)		Parpaing (MPa)		Silico-calcaire (MPa)	
	Mortier en ciment	Mortier bâtard	Mortier en ciment	Mortier bâtard	Mortier en ciment	Mortier bâtard
Etude expérimentale	1.353	1.206	1.398	1.053	9.629	5.397
Modèle analytique (2.25), (2.31) et (2.35)	0.91	0.814	1.974	1.520	8.391	3.65
Formule d'Hendry (2.37)	2.616	2.024	3.493	2.703	11.17	8.64
Rostempour (2.40)	2.805	1.867	4.05	2.697	17.51	11.65
EUROCODE6 (2.42)	0.983	0.7218	1.403	1.031	8.71	6.40
CNERIB	1.73	1.147	2.49	1.653	10.69	7.09

Tableau 5.5 Comparaison des résistances moyennes analytique, empiriques et expérimentales

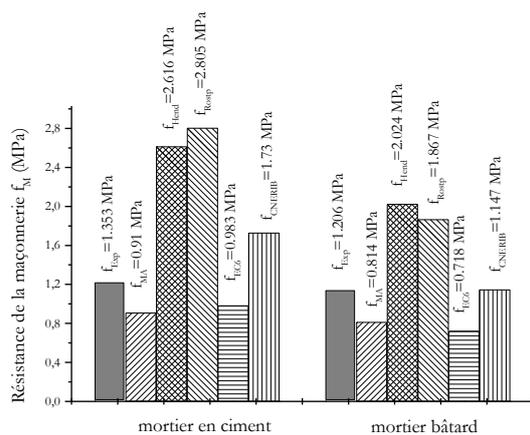


Figure 5.8 Histogramme des contraintes de ruptures (brique creuse)

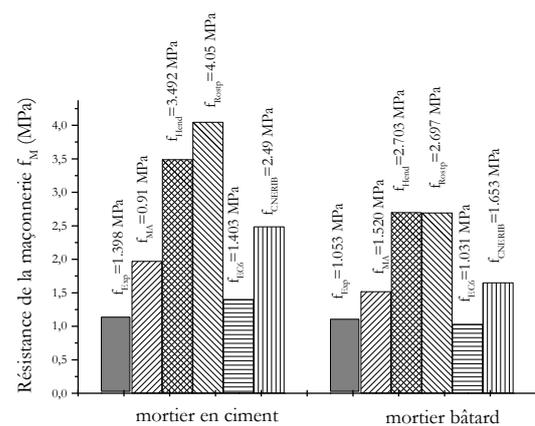


Figure 5.9 Histogramme des contraintes de ruptures (parpaing)

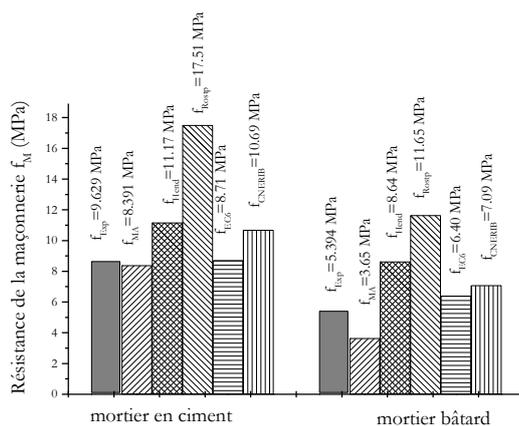


Figure 5.10 Histogramme des contraintes de ruptures (silico-calcaire)

En comparant nos résultats expérimentaux avec les expressions analytiques et empiriques nous observons une certaine concordance avec les formules analytiques, de l'EUROCODE6 [Eurocode6, 1996] et celle du CNERIB [DTR.C2-45]. Par contre avec les autres formules empiriques il y'a une grande différence.

### 5.3 COMPARAISON AVEC LES RESULTATS DU CNERIB

Nous constatons que les murets en briques Silico-Calcaires du modèle réduit, en les comparant à ceux du CNERIB [Hakimi et col, 1998] qui ont utilisé des murets à l'échelle 1 (ils ont utilisé uniquement une orientation du joint par rapport à la charge de 90° et l'épaisseur du joint constante à 1 cm), qu'on a pratiquement les mêmes ordres de grandeur surtout pour le cas du mortier en ciment (figure 5.14).

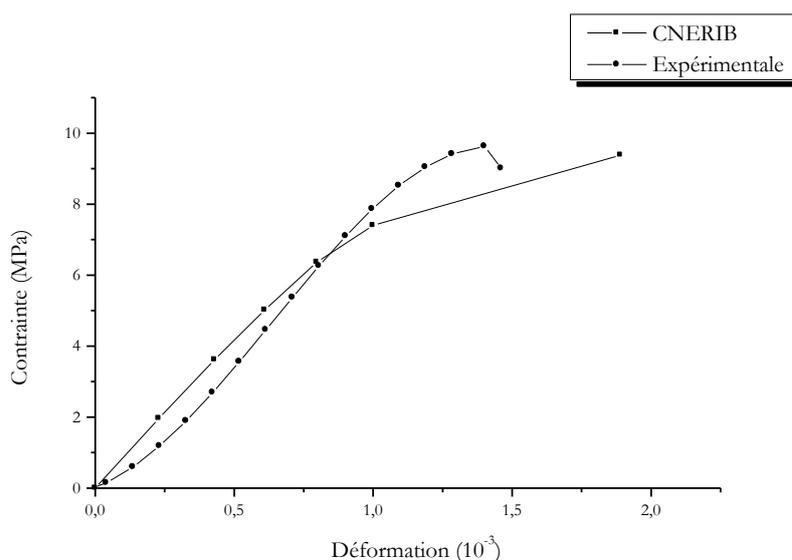


Figure 4.11 Comparaison des résultats expérimentaux avec ceux du CNERIB

#### 5.4 MODE DE RUPTURE DES MURETS

Trois modes de rupture ont été observés :

- lorsque l'orientation du plan de joint  $\theta$  est égale à  $0^\circ$ , nous obtenons une rupture par décohésion entre les joints de mortier parallèle au chargement et les briques,
- lorsque l'orientation du plan de joint  $\theta$  est égale à  $90^\circ$ , la rupture se produit par une fissuration de traction s'initialisant dans le joint de mortier parallèle à l'axe de chargement,
- Dans le cas où l'orientation du plan de joint  $\theta$  est égale à  $45^\circ$ , la rupture intervient par combinaison des deux cas précédents.

Les figures (5.15, 5.16, 5.17 et 5.18) et les photos (5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 et 5.10), montrent l'état de rupture réellement observé.

Nous avons observé pratiquement les mêmes modes de ruptures pour les murets jointoyés avec le mortier en ciment et le mortier bâtard.

En comparant avec les travaux de Page [Page, 1987], de Shaan et Torrenti [Shaan et col, 1990], nous confirmons les modes de rupture, qu'ils ont observé.

Les murets jointoyés avec le mortier en ciment présentent généralement une rupture brutale et soudaine, nous avons assisté, pour le cas de murets en briques de terre cuite creuses et surtout les murets en silico-calcaire, à de véritable éclatement, ceci démontre le caractère fragile du comportement. En revanche, les maçonnerie hourdées avec un mortier bâtard présentent une rupture progressive et douce (la résistance du mortier bâtard est faible).

Les murets en briques de terre cuite creuses et les blocs en parpaing (sauf pour le muret à 0.5 cm d'épaisseur), dont l'orientation des joints est de  $0^\circ$ , n'ont pas pu se rompre (limite du vérin à 160 KN).

## 5.4.1 Brique en terre cuite creuse

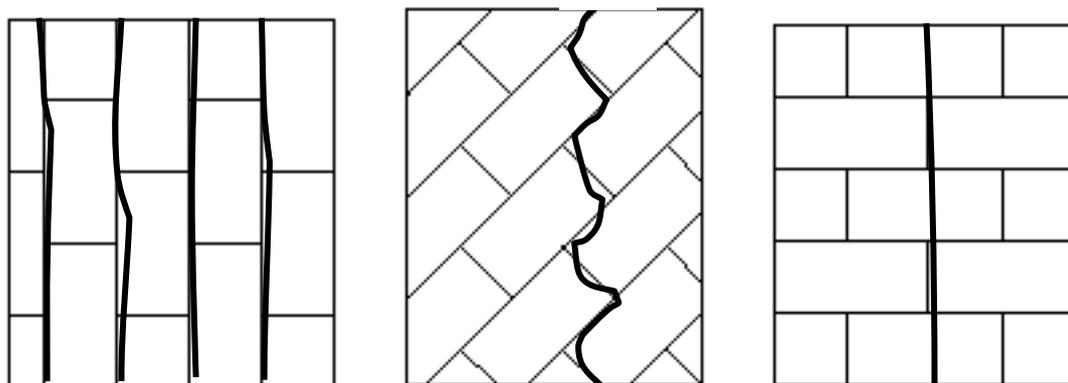


Figure 5.12 Mode de rupture des briques en terre cuite



Photo 5.1 Mode de rupture du muret en brique de terre cuite creuse ( $\theta = 0^\circ$ )



Photo 5.2 Rupture brusque des murets en brique de terre cuite ( $\theta = 90^\circ$ )

5.4.2 Bloc en béton « parpaing »

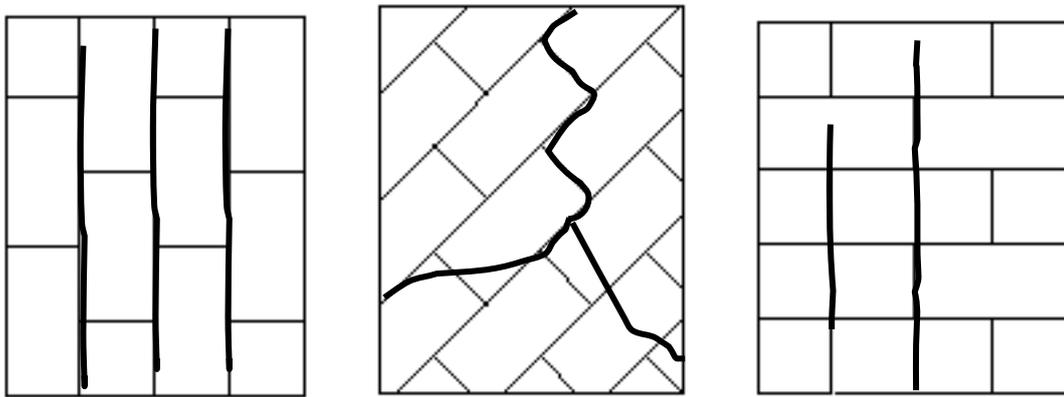


Figure 5.13 Mode de rupture des blocs en béton « Parpaing »



Photo 5.3 Mode de rupture du parpaing, mortier bâtard ( $\theta = 90^\circ$ )



Photo 5.4 Mode de rupture du parpaing, mortier en ciment ( $\theta = 90^\circ$ )



Photo 5.5 Mode de rupture du parpaing ( $\theta = 45^\circ$ )



Photo 5.6 Mode de rupture du parpaing ( $\theta = 0^\circ$ )

5.4.3 Murs en silico-calcaire (modèle réduit)

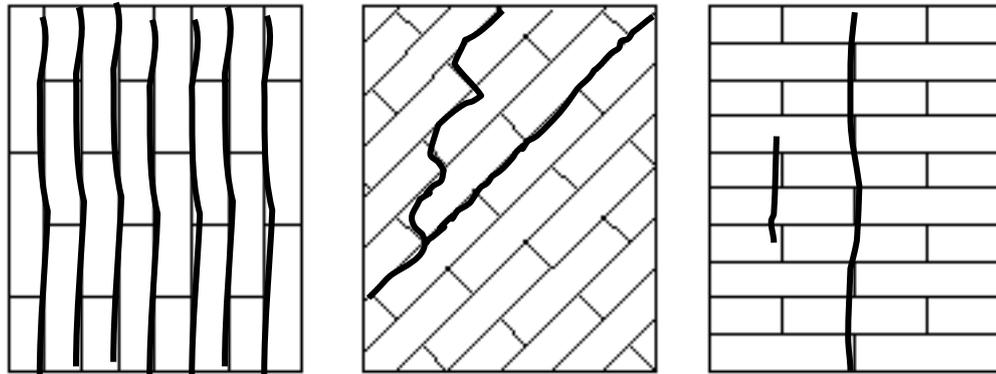


Figure 5.14 Mode de rupture des briques silico-calcaire modèle réduit



Photo 5.7 Mode de rupture des murets en silico-calcaire, modèle réduit ( $\theta = 90^\circ$ )

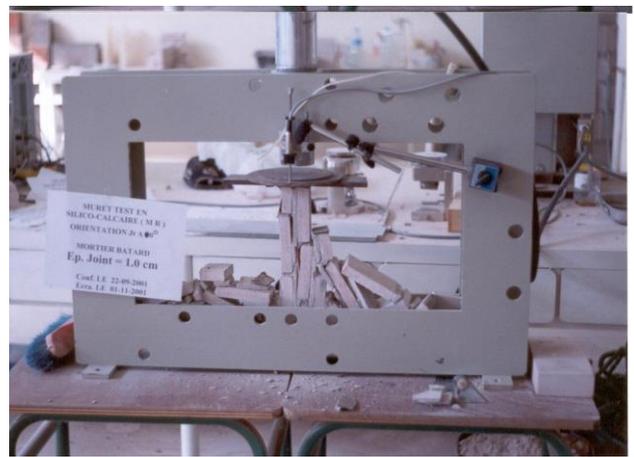


Photo 5.8 Mode de rupture des murets en silico-calcaire, modèle réduit ( $\theta = 0^\circ$ )

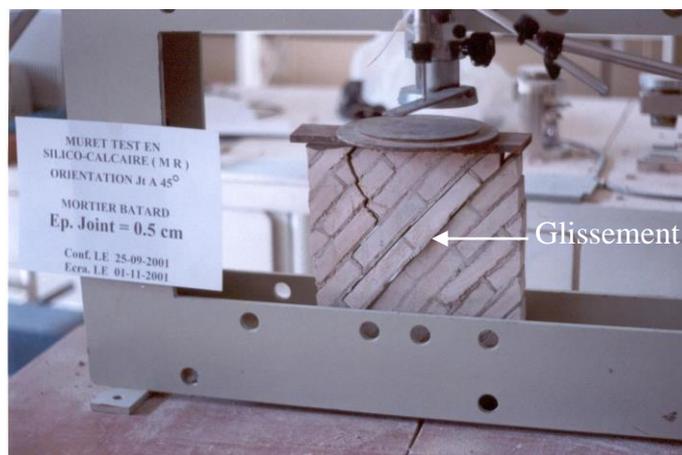


Photo 5.9 Mode de rupture des murets en silico-calcaire, modèle réduit ( $\theta = 45^\circ$ )

### 5.4.4 Mur silico-calcaire en épi

Nous constatons que la disposition de la figure (5.15b) présente la meilleure résistance à la compression. Généralement, c'est cette disposition qui a été utilisés dans les anciennes batisses à Tlemcen (photo 4.1).

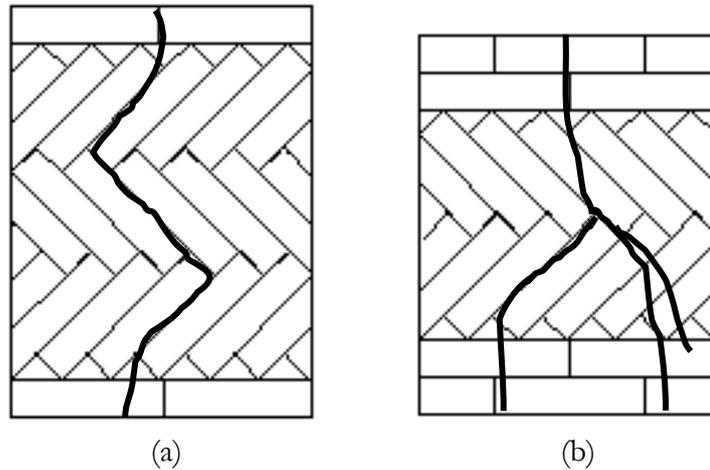


Figure 5.15 Mode de rupture des briques silico-calcaire (Epi)

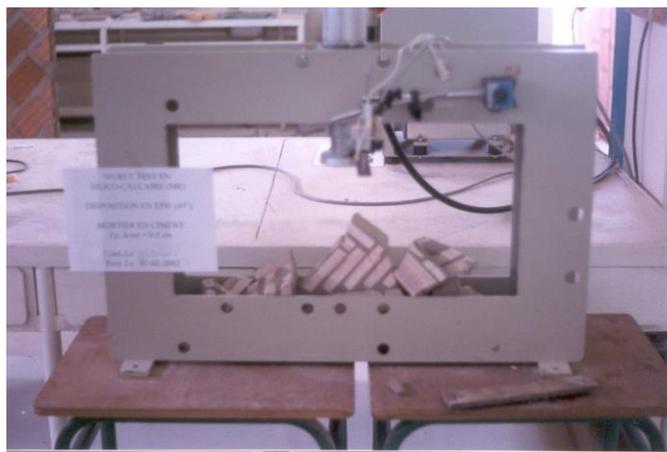


Photo 5.10 Mode de rupture des murets en épi, modèle réduit (disposition b)

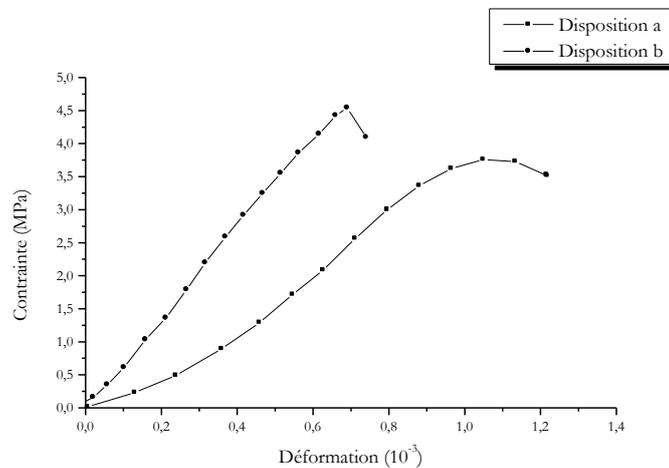


Figure 5.16 Courbes contrainte-déformation des murets en silico-calcaire (disposition en épi)

## 5.5 CONCLUSION

L'étude expérimentale sur les murets tests s'est avéré un moyen efficace d'étude du comportement de la maçonnerie.

Nous avons constaté l'importance de l'influence de l'épaisseur du joint sur le comportement de la maçonnerie sous un chargement uniaxial, l'épaisseur optimale pour la maçonnerie en brique creuse et en parpaing est de 1.0 cm. Par contre pour la maçonnerie en brique de silico-calcaire, plus l'épaisseur du joint diminue plus la résistance augmente. Ceci est en concordance avec la littérature.

Outre l'importance de l'épaisseur du joint, l'étude effectuée permet de constater l'importance des variables telles que l'orientation du joint et la nature du joint. Nous avons discuté la façon dont ces variables modifient la résistance des murets testés.

En concordance avec la littérature, nous avons observé les mêmes modes de rupture et les mêmes ordres de grandeur des résistances.