

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/303803847>

# Contribution à la modélisation dynamique de la maçonnerie chaînée (AJCE).

Article · May 2016

DOI: 10.26168/ajce.34.1.32

CITATION

1

READS

647

6 authors, including:



**Belghiat Choayb**

Centre universitaire de Mila

7 PUBLICATIONS 20 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Jean-Patrick Plassiard**

Université Savoie Mont Blanc

40 PUBLICATIONS 636 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Olivier Ple**

Université Savoie Mont Blanc

161 PUBLICATIONS 736 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Mohamed Guenfoud**

Université 8 mai 1945 - Guelma

87 PUBLICATIONS 220 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Rockfall impacts on embankments [View project](#)



Thèse doctorat [View project](#)

---

# Contribution à la modélisation dynamique de la maçonnerie chaînée

Choayb BELGHIAT<sup>1, 2, 3</sup>, Jean-Patrick PLASSIARD<sup>1, 2</sup>, Pascal PERROTIN<sup>1, 2</sup>, Olivier PLÉ<sup>1, 2</sup>, Mohamed GUENFOUD<sup>3</sup>, Ali MESSABHIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Savoie Mont Blanc, LOCIE, F-73000 Chambéry, France

<sup>2</sup>CNRS, LOCIE, F-73000 Chambéry, France

<sup>3</sup>Université de Tébessa, Laboratoire de Génie Civil Appliqué, Algérie

Courriel : [choayb.belghiat@univ-smb.fr](mailto:choayb.belghiat@univ-smb.fr) ; [jean-patrick.plassiard@univ-smb.fr](mailto:jean-patrick.plassiard@univ-smb.fr); [pascal.perrotin@univ-smb.fr](mailto:pascal.perrotin@univ-smb.fr); [olivier.ple@univ-smb.fr](mailto:olivier.ple@univ-smb.fr); [gue2905m@yahoo.fr](mailto:gue2905m@yahoo.fr); [messabhia@yahoo.fr](mailto:messabhia@yahoo.fr) ;

---

## RÉSUMÉ :

*Le présent article vise l'étude du comportement de la maçonnerie chaînée dans le contexte d'une structure en béton armé soumise à la combinaison de charges latérale et verticale. Ce travail consiste dans un premier temps à collecter les différents modèles fournis dans la littérature et à ne retenir que ceux qui sont appropriée à notre cas d'étude. La modélisation retenue a pour objectif d'obtenir un compromis optimal entre précision et simplicité. En ce sens, la micro-modélisation initialement proposée par Lourenço et al. en 1996 a été retenue. Cette modélisation consiste à simuler les joints de mortier et les interfaces par un seul et même élément. A l'aide du code aux éléments finis Cast3m et grâce à des comparaisons d'essais réalisés sur murs en maçonnerie à l'échelle 1 nous avons pu démontrer la capacité du modèle à reproduire, les comportements des matériaux et le comportement des éléments de structure. En complément, un programme expérimental est initié afin de comparer deux types de murs différents en maçonnerie chaînée (chainages uniformes et chainages harpés). Ce programme, nous servira également à valider la modélisation adoptée et enrichir la littérature par des données expérimentales originales.*

---

## ABSTRACT:

*The aim of the present study focuses on the behavior of confined masonry in the context of a reinforced concrete frame, towards the combination of lateral and vertical loads. This work initially started with collection of previous models available in the literature and retaining only those that are appropriate to our case study. The chosen model achieves an optimal compromise between accuracy and simplicity. Here a micro-modeling originally proposed by Lourenço et al. in 1996 is chosen. This model consists to simulate mortar joints and interfaces by a single element. Using the finite element code Cast3m and through comparisons of some tests on masonry walls at scale, the model's ability to reproduce the behavior of materials and behavior of structural elements is shown. In addition, an experimental program was initiated which aims to compare two different types of confined masonry walls (confined with uniform elements and with toothed elements). This program will also be used to validate the adopted modeling and to enrich the literature with original experimental data.*

**MOTS-CLÉS :** maçonnerie, cast3m, chainage, harpage, modélisation.

**KEY WORDS:** masonry, cast3m, spandrel course, toothed masonry, modelling.

---

## 1. Introduction:

La maçonnerie est un ensemble composé de différents éléments (briques ou parpaings de béton, etc...) liés généralement par des joints de mortier. Son rôle réside généralement dans la séparation entre deux espaces, elle procure, également, une isolation phonique thermique et pare-feu. Outre son rôle de remplissage, elle est souvent considérée dans les structures sous la forme de murs porteurs. Elle se comporte comme un matériau composé ou composite et sa prise en compte dans l'analyse des structures, notamment dans un calcul sismique, est complexe. Elle est souvent considérée comme élément non structural et rares sont les études qui visent la prise en compte de l'influence des panneaux de remplissage sur le comportement de la structure sous séisme. La prise en compte de ces panneaux est aujourd'hui nécessaire si l'on souhaite comprendre le comportement des structures de type poteaux-poutres avec remplissage lors d'un séisme. En effet, ce remplissage peut générer un accroissement de rigidité, à priori favorable au comportement global de la structure, mais sa présence au sein des portiques en béton armé peut aussi générer des concentrations de contraintes parasites. L'adhérence entre la maçonnerie et le portique est également dépendante du mode constructif, si bien que le comportement peut largement différer sous sollicitation sévère. Dans la littérature et depuis des nombreuses années, plusieurs travaux ont été engagés afin d'établir des modèles capables de reproduire le comportement des murs en maçonnerie sous différentes sollicitations. D'après Bicanic et al. (2002), ces modèles ont été organisés vu leur complexité et coût en calcul, en deux approches: l'approche macro-modélisation et l'approche micro-modélisation.

L'approche macro correspond à tous modèles simples qui ne servent généralement qu'à reproduire le comportement global, ceci est en représentant le panneau de maçonnerie par un ou plusieurs éléments. Grâce à leur simplicité, ils sont applicables aux analyses des structures de grandes échelles. Le modèle de la diagonale équivalente est le plus simple et le plus souvent utilisé, il a été proposé initialement par Polyakov (1960). Il a depuis été complexifié afin de pouvoir reproduire la distribution des efforts internes dans les éléments entourés et de simuler le comportement cyclique grâce aux études de Chrysostomou (1991), Reflak et Faijfar (1991), Flanagan et al (1994), Saneinejad et Hobbs (1995), Crisafulli (1997), Buonopane et Blanc (1999). Par la suite, Crisafulli et Carr (2007), ont proposé un nouveau macro-modèle comportant deux diagonales parallèles et un ressort de cisaillement dans chaque direction.

L'approche micro-modélisation réunit tous les modèles visant l'étude du comportement détaillé. L'utilisation de lois plus sophistiquées permet de décrire les phénomènes dissipatifs locaux associées d'une manière précise, ainsi que les différents modes de ruine susceptibles d'intervenir. Cette approche plus fine du comportement est aussi très coûteuse numériquement. La modélisation de chaque composant (briques, mortier et interfaces) est envisageable, de sorte que chacun soit représenté par un milieu continu régi par sa propre loi. Néanmoins, une telle approche ne reste applicable que pour l'analyse des petits spécimens étudiés en laboratoire où de décrire le comportement d'un volume élémentaire représentatif.

En 1996 Lourenço a proposé une simplification consistant à remplacer le joint de mortier et les deux interfaces par un seul élément d'interface. Le comportement de l'ensemble est donc résumé par la loi d'interface utilisée. Par conséquent, la géométrie des éléments de la maçonnerie doit être arrangée de sorte que le volume global initial soit conservé. Plusieurs travaux ont adopté cette simplification tels que: Sutcliffe et al. (2001), Cruz-Diaz et al. (2002). Dans notre travail, on va s'appuyer sur cette proposition puisqu'elle réalise un compromis optimal entre précision et simplicité et qu'elle offre une précision suffisante à moindre coût de calcul.

L'étude bibliographique des approches et modèles fournis dans la littérature nous servira prochainement à créer un modèle approprié à l'analyse des structures en béton armé avec des panneaux de maçonnerie. A cet effet l'application de ce modèle à des portiques traditionnellement utilisés en Algérie est envisagée. Quatre portiques à l'échelle  $\frac{1}{2}$  seront construits durant cette thèse de doctorat en utilisant deux manières de construction : chaînage de maçonnerie avec des éléments uniformes et avec des éléments en forme de harpage. Ces portiques sont assimilés à une travée intermédiaire de rez-chaussée d'une structure type. Le chargement, vertical et horizontal, aura pour but de caractériser le comportement de ces structures lors d'un chargement sismique.

## 2. Les techniques de modélisation par l'approche type micro-modélisation :

Page (1978) est parmi les premiers utilisateurs de l'approche micro-modélisation dans le domaine des maçonneries. Il a supposé que les blocs de maçonnerie ont un comportement élastique isotrope. Par la suite, la prise en compte des irréversibilités est initialement introduite par Liauw et Kwan (1984). Ils ont supposé que le comportement des briques est élastique fragile isotrope avant la fissuration, puis anisotrope afin de prendre en compte l'orientation de fissure. Dawe et Seah (1989) ont également introduit un joint virtuel afin de simuler la

rupture des éléments de maçonnerie par traction. Mehrabi et Shing (1997) ont utilisé une modélisation de fissures tournantes et des lois durcissant/adoucissant avec un modèle plastique combiné à un critère de Rankine en traction. Un modèle orthotrope en compression et en traction est adopté dans les travaux de Baloevic et al. (2013). Ces auteurs ont utilisé un modèle de fissuration du béton en supposant que la fissure reste dans le plan horizontal et/ou vertical avec une transmission des contraintes de compression dans la zone fissurée semblable à celle de la zone non fissurée.

Concernant le joint de mortier, il est impératif de le modéliser séparément, avec une loi de comportement adaptée dans un cas où l'approche micro détaillée est adoptée. Dans les travaux de Colliat et Davenne (2002), il est modélisé par un milieu élastique parfaitement plastique et prend en compte la dilatance. Cependant, les interfaces joint/bloc ont été largement simulées par le critère de Mohr-Coulomb (Rahman et Anand (1994), Lourenço et Ramos (2004) et Cruz Diaz J.I. (2002)). Ce dernier a utilisé l'élément « joint Coulomb » intégré dans le code Cast3m. Ainsi, Mehrabi et al. (1994) ont développé un nouveau modèle en se basant sur un modèle d'interface cohésive, de sorte que, la formulation adoptée permet de simuler le durcissement en compression, la dilatation géométrique et la dégradation de la rigidité normale lors de la refermeture d'interface. Aussi, un autre modèle multi-surfaces a été proposé initialement par Lourenço (1996), puis amélioré par Lourenço et Rots (1997) et Van Zijl (2000), en combinant le critère de frottement de coulomb, le mode cut-off en traction et l'ellipse cap en compression. D'autres études ont depuis également utilisé ce critère Al-Chaar et al. (2008) qui permet de reproduire les différents comportements à la rupture rencontrés dans les joints, à savoir la fissuration de traction, la fissuration de cisaillement ainsi que l'écrasement. Cependant, ces modèles ne traduisent pas le comportement non linéaire constaté avant d'atteindre le critère de rupture. Afin de prendre en compte cet effet une loi de type élastique avec endommagement et plasticité [SEL13] a été utilisée pour modéliser le comportement de ponts en maçonnerie [DOM13]. C'est cette loi qui sera utilisée par la suite lors de notre étude pour modéliser aussi bien le comportement du béton que des joints et des briques.

### 3. Présentation de la modélisation :

Le modèle adopté dans cet article est introduit dans le code aux éléments finis Cast3m développé par le département mécanique et technologie (DMT) du commissariat français à l'énergie atomique (CEA). Le volume de béton, des briques et des joints ont été modélisés avec des éléments cubiques à huit nœuds. La loi de comportement de ces composants utilise la loi proposée et développée par Sellier et al [SEL13]. Cela implique l'identification de trois jeux de paramètres reproduisant respectivement le comportement du béton, des briques et des joints. Les aciers sont représentés par des éléments barres à deux nœuds avec la loi élasto-plastique parfaite. Les joints de mortier sont modélisés suivant l'approche proposée par Lourenço 1996 [LOU96]. Le mortier et les interfaces avec la brique sont donc identifiés comme un seul élément. Cet élément correspond à un cube aplatis et utilise la loi de comportement proposée par [SEL13].

Le modèle proposé par Sellier et al [SEL13] est implémenté dans le code Cast3m sous l'instruction 'ENDO3D' et par l'auteur lui-même. Il fait intervenir 35 paramètres globalement, 17 parmi eux sont des paramètres utiles dans l'aspect mécanique, et les autres concernent les aspects chimiques, thermiques et poromécanique du matériau aussi que les phénomènes de fluage et de gonflement. Il inclut le critère orthotrope de Rankine en traction et une approximation basée sur le critère de Drucker-Prager en compression avec un comportement associant endommagement et plasticité [SEL13]. Son utilisation pour la modélisation de maçonnerie nécessite la confrontation d'essais expérimentaux et numérique afin d'identifier les différents paramètres. En ce but, des essais de compression et de traction par fendage sont requis pour caractériser les briques et le mortier. Ensuite la deuxième étape consiste à introduire les paramètres individuels de chaque composant dans un modèle numérique et de déterminer les paramètres homogénéisés à partir de la courbe correspondante à un chargement bi axial (compression cisaillement) [DOM13].

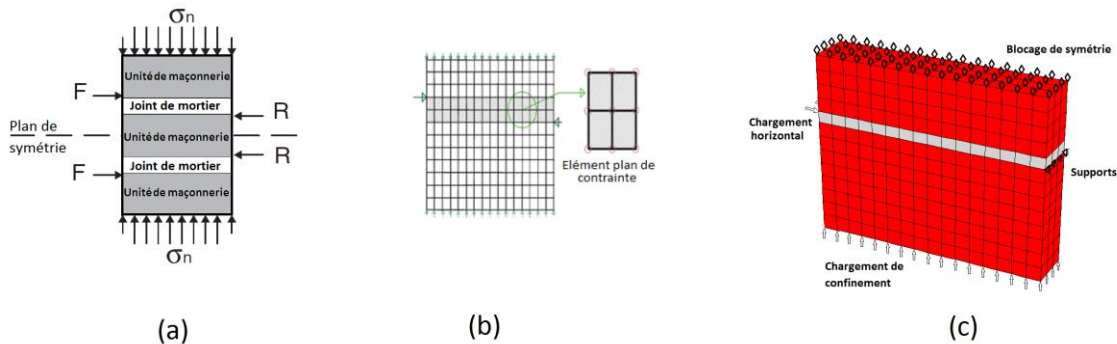
### 4. Simulations numériques :

Le modèle numérique présenté ici vise à reproduire le comportement de la maçonnerie vis-à-vis d'un chargement bi-axial (latéral-vertical), ceci est à partir des diverses essais expérimentaux fournies dans la littérature. Le comportement de la maçonnerie est fortement régi par le comportement de l'interface qui présente le plan de faiblesse de ce matériau [DOM13]. A cet effet, la calibration des paramètres inclut le comportement de l'interface d'un triplet confiné soumis à un chargement de cisaillement. L'utilisation de ce test pour plusieurs pressions de confinement permet de déduire le comportement en cisaillement de cette interface. La calibration du comportement de l'interface soumise à une combinaison traction - cisaillement est ensuite calibrée au moyen d'un panneau de maçonnerie soumis à une compression diagonale. L'ensemble de ces paramètres peut alors être

utilisé pour la modélisation d'un portique en béton armé rempli par maçonnerie et soumis à un chargement vertical et horizontal.

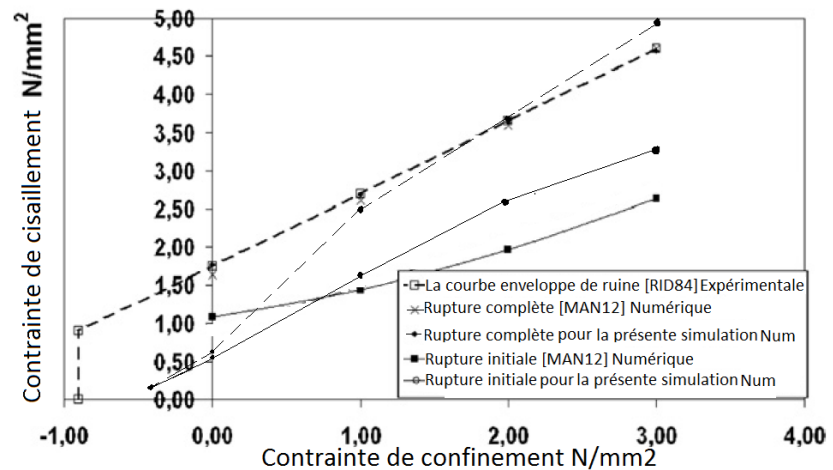
### 3.1. Calibration pour un élément joint :

Dans les travaux de Riddington JR. [RID84], des triplets de maçonnerie confinés ont été testés par un chargement horizontal jusqu'à la rupture. Ces triplets se composent de trois briques alignées de dimensions 215x102.5x65 mm<sup>3</sup> et deux joints de mortier de 10 mm d'épaisseur (Fig 1-a). La résistance au cisaillement (à la rupture totale) obtenue sous différentes contraintes de confinement est représentée sur la figure (2).



**Figure 1.** (a) Le triplet confiné de Riddington JR [RID84], (b) Le modèle numérique de Manos et al [MAN12], (c) le modèle adopté dans le présent article.

La simulation de ces tests en état plan de contrainte a été engagée dans les travaux de Manos et al, [MAN12]. Dans lesquels, des éléments surfaciques continus avec un critère de Coulomb ont été utilisées pour représenter les joints de mortier, et avec un comportement élastique en représentant les éléments de maçonnerie (Fig 1-b). Les auteurs [MAN12] ont tracé deux courbes de la variation de contrainte de cisaillement en fonction du confinement appliqué, la première correspond à l'initiation de fissuration et la deuxième courbe concerne la ruine totale par cisaillement (Fig 2). Ici, un modèle tridimensionnel a été adopté et la rupture étant supposée intervenir au sein des joints, les éléments de maçonnerie ont été modélisés par des cubes à huit nœuds avec un comportement élastique isotrope. Le joint de mortier a été modélisé par des éléments cubiques aplatis avec la loi de Sellier et al, [SEL13] décrite précédemment. Le jeu de paramètres utilisés dans cette modélisation ainsi que celui utilisé par [RID84] et [MAN12] ont été mentionnés dans le tableau (1), et la discrétisation de la structure par symétrie est illustrée par la figure (1-c). Les courbes comparant ce travail à celui de [RID84] et [MAN12] sont présentées sur la figure (2).



**Figure 2.** Résistance au cisaillement de joint au moment de la rupture initiale et complète sous différentes contraintes de confinement pour les trois travaux [RID84], [MAN12] et pour la présente simulation.

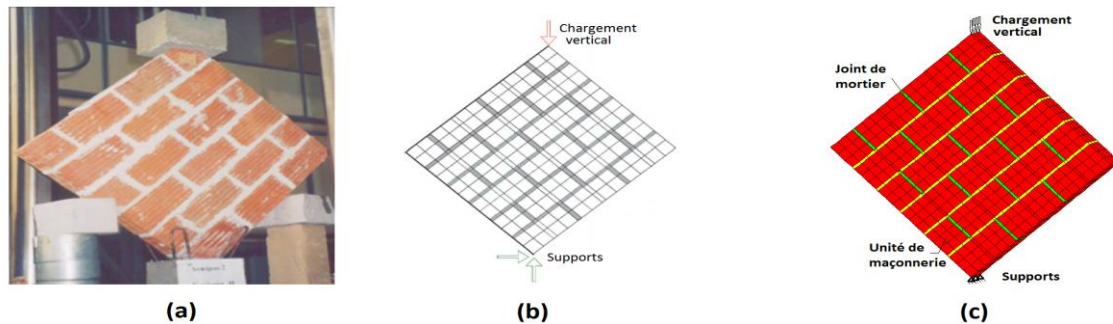
Dans la plage des contraintes de confinement de 1 jusqu'à 3 MPa, les résistances au cisaillement obtenus par le modèle numérique correspondent à ceux des deux autres travaux. Pour les contraintes de confinement plus faibles, en revanche, la valeur obtenue à la rupture tend à se rapprocher de celle correspondant à l'initiation de la fissure. . A partir de ces résultats on peut constater que le modèle adopté est capable de reproduire la réponse d'un joint confiné soumis à un chargement de cisaillement. De plus, l'élément cubique aplati représentant le joint de mortier et les deux interfaces est capable de représenter le rôle de l'ensemble.

	Matériaux	Module de Young N/mm <sup>2</sup>		Module de cisaillement N/mm <sup>2</sup>		Coefficient de poisson	
Travaux de Manos et al [MAN12]	Briques	28500		/		0.13	
	Joint de mortier	8800		3730		0.18	
	Enveloppe de Mohr-Coulomb (joint)	Résistance à la traction 0.9 N/mm <sup>2</sup>		Coefficient de frottement 0.95		Résistance au cisaillement 1.75 N/mm <sup>2</sup>	
Modélisation actuelle	Briques	28500		/		0.13	
	Joint de mortier	8800		/		0.18	
	Loi de Sellier et al. [SEL13]	RC	RT	GFT	EKDC	EPC	DELTA
		4	0.9	2 <sup>E</sup> -5	9 <sup>E</sup> -4	3 <sup>E</sup> -3	1

**Tableau 1.** Jeu de paramètres utilisé dans la simulation de Manos et al, [MAN12] et dans la présente simulation.

### 3.2. Calibration pour un panneau de maçonnerie :

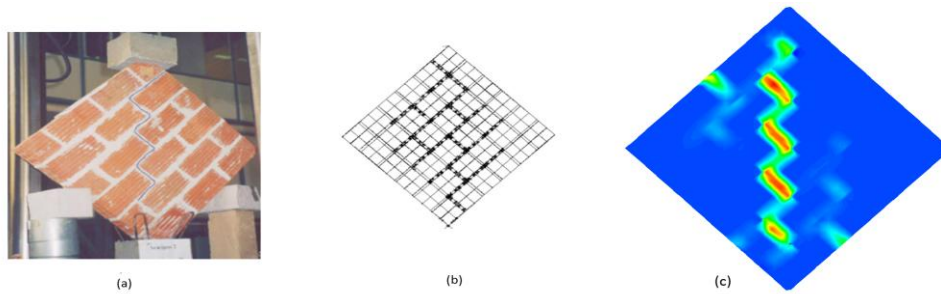
Dans les mêmes travaux de Manos et al, [MAN12] deux tests de compression diagonale ont été réalisés sur des panneaux en maçonnerie de 580 x 550 x 58.5 mm<sup>3</sup> (Fig 3-a). La réponse obtenue du spécimen est illustrée par le diagramme contrainte - déformation ( $\tau$ - $\gamma$ ) et par l'allure d'endommagement du panneau (Fig 4 et Fig 5-a respectivement). Les auteurs ont utilisé la même technique de modélisation utilisée pour le test sur le triplet : les briques ont été modélisées par des éléments surfaciques continus avec un comportement élastique isotrope, et les joints de mortier par des éléments cubique aplatis avec le critère de Coulomb (Fig 3-b). La simulation réalisée au cours de notre étude utilise à nouveau des éléments tridimensionnels avec le même type de lois de comportement que précédemment. Les jeu de paramètres utilisés sont présentés dans le tableau (2), ainsi les résultats expérimentaux et numériques sont présentés dans les figures 4 et 5.



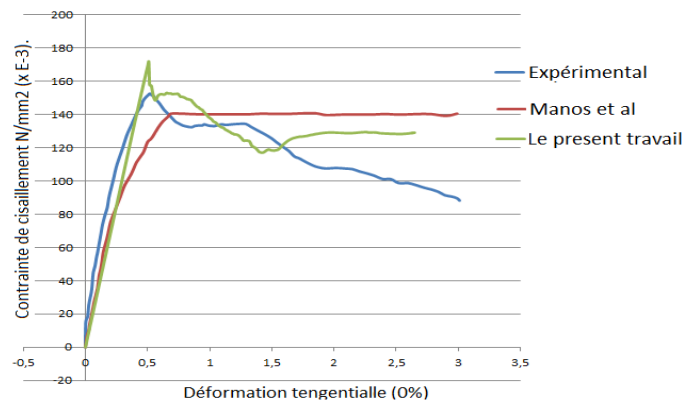
**Figure 3.** (a) Le modèle physique de Manos et al [MAN12], (b) Le modèle numérique de Manos et al [MAN12], (c) le modèle adopté dans le présent article.

	Matériau	Module de Young N/mm <sup>2</sup>		Module de cisaillement N/mm <sup>2</sup>		Coefficient de poisson	
Travaux de Manos et al [MAN12]	Briques	4316		/		0.13	
	Joint de mortier	100		59		0.18	
	Enveloppe de Mohr-Coulomb (joint)	Résistance à la traction 0.10 N/mm <sup>2</sup>		Coefficient de frottement 0.52		Résistance au cisaillement 0.10 N/mm <sup>2</sup>	
Modélisation actuelle	Briques	4316		/		0.13	
	Joint de mortier	200		/		0.18	
	Loi de Sellier	RC	RT	GFT	EKDC	EPC	DELTA
		0.75	0.2	2 <sup>E</sup> -5	3 <sup>E</sup> -3	2 <sup>E</sup> -3	0.95

**Tableau 2.** Jeu de paramètres utilisé dans la simulation de Manos et al, [MAN12]; et dans la présente simulation.



**Figure 4.** L'endommagement correspond à la valeur de pic pour : (a) Le modèle physique de Manos et al [MAN12]; (b) Le modèle numérique [MAN12] ; (c) La modélisation actuelle.



**Figure 5.** Les courbes traduisent la variation de contrainte de cisaillement en fonction de déformation tangentielle : Expérimentale et numérique des travaux de Manos et al, [MAN12] et notre modèle adopté.

On peut constater à partir de ces résultats que la modélisation adoptée reproduit convenablement la réponse d'un mur en maçonnerie vis-à-vis d'un chargement vertical et latéral combiné. Le modèle permet notamment de reproduire la résistance ultime ainsi que le comportement post pic. Il a également été observé que le mode de ruine donné par le numérique (fissuration des joints verticaux et horizontaux à travers la diagonale) est semblable à celui observé par l'expérience.

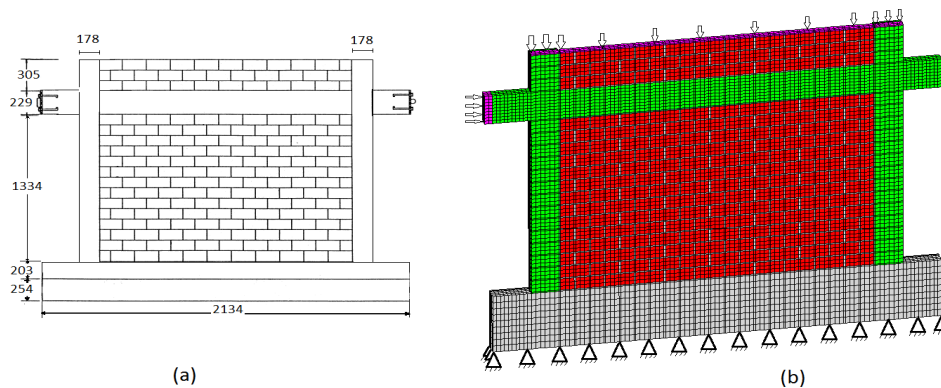
### 3.3. Calibration pour un portique en béton armé rempli par un panneau de maçonnerie :

Dans les travaux de thèse de Mehrabi AB. [MEH94] une série de portiques de demi-échelle avec diverses configurations a été testée sous différents cas de chargement. On a choisi le portique référencé par le spécimen n°8 qui permet de démontrer l'efficacité de modèle adopté à reproduire la réponse de l'ensemble et de simuler le comportement des différents composants. Sa géométrie et les caractéristiques des matériaux de ses composants sont illustrées par la figure (6-a) et le tableau (3) respectivement.

	Paramètres	Briques	Mortier	Béton
Travaux de Mehrabi., [MEH94]	Module de Young $N/mm^2$	/	/	17240
	Résistance à la compression $N/mm^2$	16.48	15.52	26.8
Modélisation actuelle	Module de Young $N/mm^2$	6100	650	17200
	Résistance à la compression $N/mm^2$	16.5	0.35	25
	Résistance à la traction $N/mm^2$	1.7	0.2	3
	Déformation au pic	$2^E-3$	$2^E-3$	$2^E-3$
	Energie de fissuration par traction $N/mm2$	$2^E-5$	$3^E-5$	$1^E-4$
	Endommagement en compression	$2^E-4$	$3^E-3$	$1^E-4$

**Tableau 3.** Jeu de paramètres utilisé dans les travaux de Mehrabi AB., [MEH97]; et dans la présente simulation.

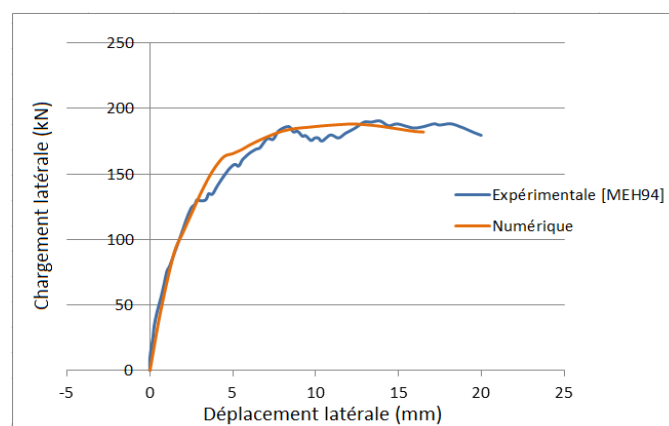




**Figure 6.** (a) Le modèle n° 8 de Mehrabi [MEH94], (b) Le modèle numérique adopté dans le présent article.

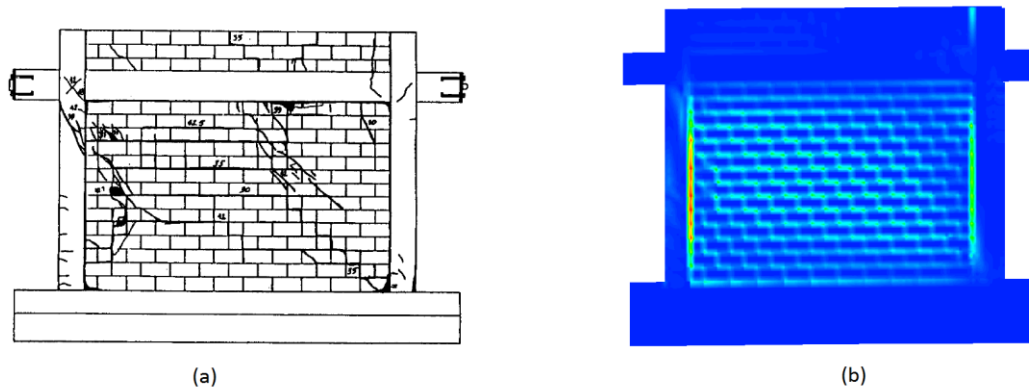
Dans cette partie on a choisi une modélisation en épaisseur d'une moitié de la structure, en raison de la symétrie. Une platine en acier d'un seul élément en épaisseur a été mise au-dessus du portique afin de distribuer le chargement vertical de 440 kN. L'application du chargement horizontal est réalisé par pilotage en déplacement par l'intermédiaire d'une platine évitant les concentrations de contraintes au point d'application de la charge (Fig 6-b). Les unités de maçonnerie ont été modélisées par des cubes à huit nœuds avec la loi de Sellier et al. [SEL13] et les joints de mortier par des cubes aplatis, également avec la loi [SEL13]. Cette même loi est également utilisée avec des cubes à huit nœuds pour représenter le béton du portique. Tandis que, les barres d'acier ont été modélisées par des éléments barres avec la loi élasto-plastique parfaite. Le jeu de paramètres introduit dans le modèle adopté est présenté dans le tableau (3). Les réponses obtenues numériquement et expérimentalement sont présentées sous forme de courbe traduisant la variation de résistance latérale du portique en fonction de son déplacement correspondant (Fig 7). Une comparaison entre les fissurations expérimentales et numériques est illustrée par la figure (Fig 8).

A partir de ces résultats le modèle choisi a montré sa capacité à reproduire le comportement des différents composants du portique (Béton, mortier et éléments de maçonnerie). En terme de réponse globale, il est réussie à évaluer la résistance ultime de la structure aussi qu'il a donné une réponse comparable à celle de l'expérimental, y compris en régime post-pic. La fissuration des zones tendues des poteaux et les fissures à travers la diagonale du panneau sont également reproduites par le modèle.



**Figure 7.** Les courbes traduisent la variation de la résistance latérale du portique en fonction de son déplacement tangentiel : Expérimentale des travaux de Mehrabi AB. [MEH94] et numérique de notre modèle adopté.





**Figure 8.** L'endommagement à la valeur de pic dans : (a) Le modèle physique de Mehrabi AB. [MEH97]; (b) Le modèle numérique adopté dans cet article.

## 5. Conclusions et perspectives :

Ce travail a permis de vérifier l'aptitude des modèles et des lois de comportement utilisées à reproduire les résultats issus de la littérature concernant le comportement d'une structure de type portique en béton armé avec remplissage en maçonnerie. L'étape à venir consiste à réaliser des essais expérimentaux sur les différents éléments de maçonneries, conformément aux modélisations présentées dans cet article. Parallèlement, des portiques avec panneau en maçonnerie chaînée seront réalisés afin d'effectuer des tests de poussée horizontale. L'ensemble de ces essais pourront alors être utilisé afin de calibrer et valider le modèle numérique développé au cours de cette thèse de doctorat.

## 6. Bibliographie

[DOM13] DOMEDE N., SELIER A., STABLON T., «Structural analysis of a multi-span railway masonry bridge combining in situ observations, laboratory tests and damage modeling », *Engineering Structures* 56 837–849, 2013.

[LOU96] LOURENÇO P., Computational strategies for masonry structures, Thèse de doctorat, université de technologie de Delft, 1996.

[MAN12] MANOS G.C., SOULIS V.J., THAUAMPTEH J., «The behavior of masonry assemblages and masonry-infilled R/C frames subjected to combined vertical and cyclic horizontal seismic-type loading », *Advances in Engineering Software* 45 213–231, 2012.

[MEH94] MEHARBI AB., Performance of masonry-infilled RC frames under in-plane lateral loads, These de doctorat, université de Colorado, 1994.

[MEH97] MEHARBI AB. ET SHING P.B., «Finit element modeling of masonry-infilled RC frames», *journal of structural engineering*, May 1997.

[RID84] RIDDINGTON JR. «The influence of initial gaps on infilled frame behavior », *In: Proceedings instn civ engrs, Part 2*, vol. 77; 1984. P. 295–310.

[SEL13] SELIER A., CASAUX-GINESTET G., BUFFO-LACARRIÈRE L., BOURBON X., «Orthotropic damage coupled with localized crack reclosure processing, Part 1: Constitutive laws », *Engineering Fracture Mechanics* 97 148-167, 2013.