



HAL
open science

Un modèle multi-échelle d'interface : application aux interfaces mortier/brique

Amna Rekik, Frédéric Lebon

► **To cite this version:**

Amna Rekik, Frédéric Lebon. Un modèle multi-échelle d'interface : application aux interfaces mortier/brique. 9e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01419951

HAL Id: hal-01419951

<https://hal.science/hal-01419951v1>

Submitted on 20 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Un modèle multi-échelle d'interface : application aux interfaces mortier/brique

A. Rekik¹, F. Lebon²

¹ Institut PRISME/Equipe MMH, (Polytech Orléans)
8 rue Léonard de Vinci 45072 Orléans Cedex 2
amna.rekik@univ-orleans.fr

² Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (CNRS Aix-Marseille Université)
31 chemin Joseph Aiguier 13402 Marseille Cedex 20
lebon@lma.cnrs-mrs.fr

Résumé — Dans cette étude, on décrit un modèle multi-échelle d'interface endommageable. Ce modèle est obtenu en couplant des techniques d'homogénéisation et d'analyse asymptotique. Il est ensuite appliqué à des structures maçonnées constituées de briques et de mortier. Contrairement à de nombreuses autres analyses, le joint de mortier n'est pas supposé être de faible épaisseur. Des exemples numériques sont présentés et comparés à des résultats expérimentaux.

Mots clés — Interface, maçonneries, homogénéisation, analyse asymptotique.

1 Introduction

De façon traditionnelle, les édifices ont toujours été construits à partir de matériaux "naturels", comme des pierres ou des briques. Si la maçonnerie est l'un des plus anciens matériaux de construction, elle est encore très souvent utilisée de nos jours pour des raisons évidentes de résistance ou d'apparence. Par ailleurs, même si la maçonnerie n'est pas un matériau de haute technologie, elle n'en est pas moins un matériau au comportement très complexe et mal connu. Cette complexité est due en particulier aux interactions entre les composants qui la constituent (mortier, briques, blocs béton et pierres) et à l'anisotropie due à la direction des joints. Classiquement, les structures maçonnées sont conçues de façon empirique et dans ce domaine, les méthodes de conception n'ont été développées que récemment, en particulier dans une volonté d'allègement des structures. Du point de vue de la modélisation deux écoles s'opposent. La première considère la maçonnerie comme un matériau dont il convient de déterminer, par des techniques d'homogénéisation en général, les caractéristiques mécaniques. La seconde considère, la maçonnerie comme un assemblage multi-corps, les interactions étant alors prépondérantes. Cette étude se place dans la seconde catégorie.

Le but de cette étude est de prédire l'endommagement dans les maçonneries en couplant le calcul des structures et les méthodes d'homogénéisation. Pour des maçonneries constituées de briques et de mortier, on fait l'hypothèse de l'existence d'un troisième matériau qui est un mélange des deux autres constituants et qui est située entre eux. On suppose de plus que ce nouveau matériau est de faible épaisseur et de faible rigidité du fait de la présence de fissures. Le problème est traité en 3D d'un point de vue théorique et en 2D d'un point de vue numérique, en utilisant

la méthode des éléments finis. On considère donc trois matériaux : la brique, le mortier et l'interface. Les propriétés de ce troisième matériau sont obtenues en quatre étapes : (1) tout d'abord, les propriétés effectives d'un premier matériau équivalent MHE-1 sont obtenues par homogénéisation d'un stratifié brique/mortier ; (2) ensuite, on suppose que ce nouveau matériau MHE-1 est fissuré et on applique le modèle de Kachanov afin d'obtenir un second matériau équivalent noté MHE-2 ; (3) une analyse asymptotique est utilisée qui permet de modéliser le matériau MHE-2 de faible épaisseur, par hypothèse, et de faible rigidité, par modélisation, comme une interface ou un joint. Les propriétés cette interface sont déduites de celle du matériau MHE-2 et dépendent en particulier de la longueur et de l'orientation initiales des fissures. (4) Un autre étape, consiste à définir un modèle qui gère les variations de la longueur de la fissure en fonction de l'évolution du champ des contraintes. Cette méthode est appliquée à deux exemples : des triplets de briques pleines ou creuses et un muret soumis à une compression diagonale. Les résultats numériques sont comparés à des résultats expérimentaux de la littérature.

2 Description du modèle

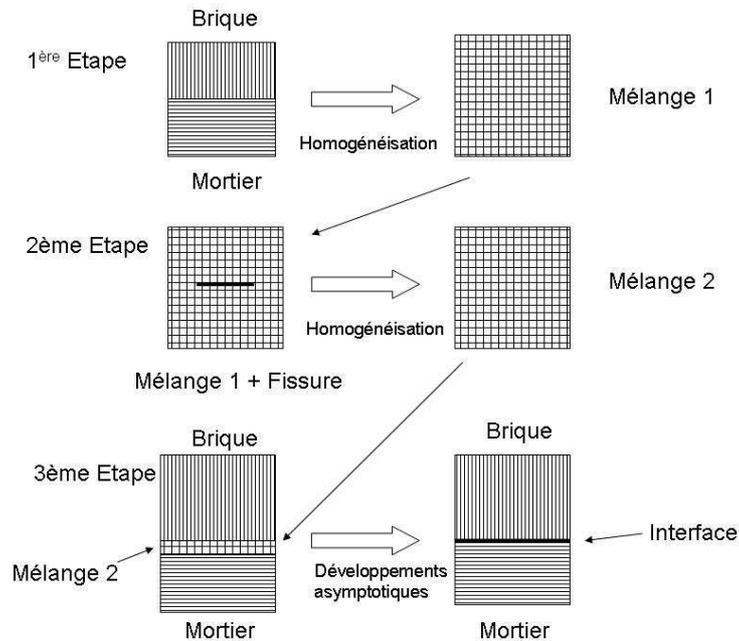


Figure 1 – Description de la méthodologie

Nous proposons une méthodologie qui utilise la théorie de l'homogénéisation, les techniques asymptotiques et la méthode des éléments finis. La méthodologie utilisée est décrite sur la figure 1. Dans beaucoup d'analyses, seuls deux matériaux sont considérés : la brique et le mortier. Dans cette analyse, on suppose la présence d'un troisième matériau : un mélange de brique et de mortier ayant une densité de fissures ρ . Pour obtenir les propriétés effectives de ce matériau, nous procédons en trois étapes, décrites en détails dans [6].

2.1 Première étape : homogénéisation d'un composite stratifié

Nous calculons de façon exacte les propriétés effectives du matériau non fissuré en utilisant les techniques d'homogénéisation appliquées aux composites stratifiés. On définit ainsi un premier matériau homogène équivalent noté MHE-1.

2.2 Deuxième étape : homogénéisation d'un composite endommagé

Dans la deuxième étape, on affecte au matériau précédent MHE-1 une densité de fissures ρ . Afin d'obtenir les propriétés macroscopiques du matériau MHE-1 fissuré on utilise le modèle de Kachanov [4] et on obtient un nouveau matériau MHE-2.

En utilisant des notations usuelles, les propriétés effectives de MHE-2 sont données par :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{E_1}{E_1^0} = \frac{1}{1 + 2\rho \sin^2\phi (B_{tt} \cos^2\phi + B_{mm} \sin^2\phi - B_{mt} \sin 2\phi) E_1^0} \\ \frac{E_2}{E_2^0} = \frac{1}{1 + 2\rho \cos^2\phi (B_{tt} \sin^2\phi + B_{mm} \cos^2\phi + B_{mt} \sin 2\phi) E_2^0} \\ \frac{G_{12}}{G_{12}^0} = \frac{1}{1 + \rho (B_{mm} \sin^2 2\phi + B_{tt} \cos^2 2\phi - B_{mt} \sin 4\phi) G_{12}^0} \\ \frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{12}^0}{E_1^0} \end{array} \right. \quad (1)$$

Les exposants ⁰ correspondent aux caractéristiques du matériau non fissuré, ϕ est un angle moyen d'orientation des fissures et les coefficients $B_{..}$ sont des coefficients qui dépendent de la longueur moyenne des fissures l .

2.3 Troisième étape : analyse asymptotique et loi d'interface

Dans la troisième étape, on considère que le matériau MHE-2 est de faible épaisseur e et donc que ses propriétés mécaniques peuvent être obtenues en utilisant des techniques asymptotiques (passage micro-macro). La densité de fissures est écrite sous la forme : $\rho = l^2/(eL_0)$ où L_0 est la longueur du joint, on peut démontrer que les rigidités normale et tangentielle de l'interface peuvent s'écrire sous la forme :

$$C_N = \frac{L_0}{l^3 2C(1 + D \cos 2\phi)}; \quad C_T = \frac{L_0}{l^3 4C(1 - D \cos 2\phi)} \quad (2)$$

avec $C = \frac{\pi}{4} \frac{\sqrt{E_1^0} + \sqrt{E_2^0}}{\sqrt{E_1^0 E_2^0}} \left(\frac{1}{G_{12}^0} - 2 \frac{\nu_{12}^0}{E_1^0} + \frac{2}{\sqrt{E_1^0 E_2^0}} \right)^{\frac{1}{2}}$ et $D = \frac{\sqrt{E_1^0} - \sqrt{E_2^0}}{\sqrt{E_1^0} + \sqrt{E_2^0}}$.

3 Résultats numériques

Afin de démontrer la validité du modèle proposé plus haut, on étudie le cas de structures maçonnées soumises à du cisaillement. Les résultats numériques obtenus par éléments finis sont ensuite comparés à des résultats expérimentaux de la littérature [1, 2]. On étudie trois exemples : un triplet de briques pleines, un triplet de briques creuses et finalement le cas d'un muret. Les tables (1) and (2) donnent les propriétés des briques et du mortier utilisés pour les trois cas présentés.

Module d'Young brique creuse (MPa)	5127.6
Coefficient de Poisson brique creuse	0.15
Module d'Young mortier (MPa)	8200
Coefficient de Poisson mortier	0.3

Tableau 1 – Propriétés mécaniques des constituants pour l'étude des triplets de briques creuses et du mur

Module d'Young brique (MPa)	12800
Coefficient de Poisson brique	0.3
Module d'Young mortier (MPa)	4000
Coefficient de Poisson mortier	0.3

Tableau 2 – Propriétés mécaniques des constituants pour l'étude des triplets de briques pleines

La figure (2, (a)) donne la géométrie initiale du triplet de maçonnerie. La déformée et la relation contraintes-déplacements pour le triplet de briques pleines en cisaillement sont données sur les figures ((2, (b)) et (3)). On observe que les résultats numériques obtenus à partir du modèle proposé reproduisent qualitativement les résultats expérimentaux (courbes notées 1-f et 4-f) et que le test 1 (courbe 1-f) est tout particulièrement retrouvé.

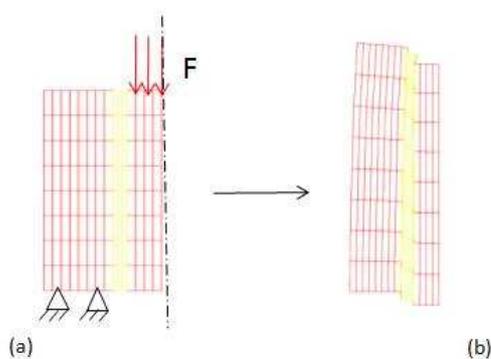


Figure 2 – Géométrie initiale et chargement, triplet en briques pleines (a), déformée, essai de cisaillement (b)

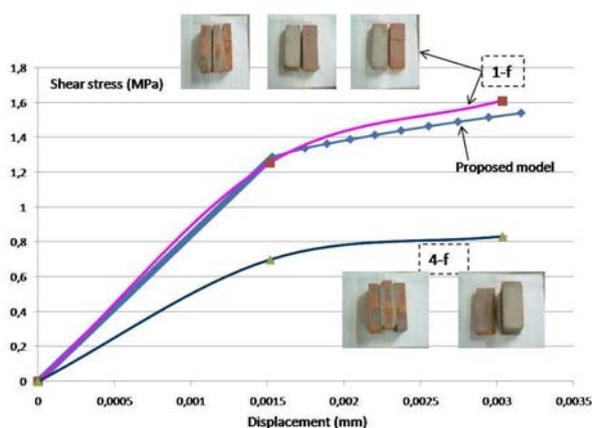


Figure 3 – Diagramme contraintes-déplacements pour le triplet en briques pleines, résultats expérimentaux et numériques.

On a le même type de conclusions pour les résultats obtenus pour des briques creuses. Notons que pour les courbes 1-h, 2-h et 3-h sur la figure 4 la rupture intervient non pas à l'interface brique-mortier mais à l'intérieur du mortier. Ces résultats expérimentaux ne correspondent pas à une rupture de l'interface. Les résultats expérimentaux notés 4-h montre la capacité du modèle à

reproduire la rupture à l'interface brique-mortier.

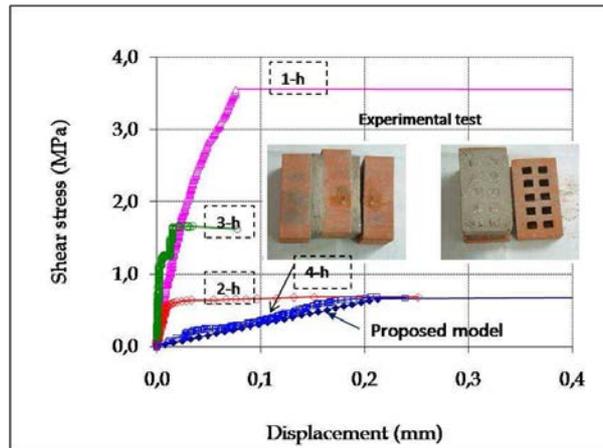


Figure 4 – Diagramme contraintes-déplacements pour le triplet en briques creuses, résultats expérimentaux et numériques.

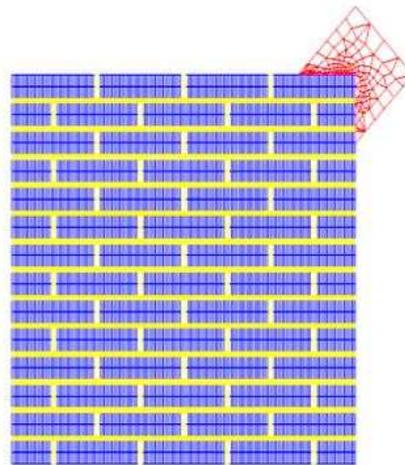


Figure 5 – Essai de compression diagonale : structure initiale et chargement.

Le modèle a été appliqué à un essai classique de compression diagonale [2]. Il s'agit d'un muret en briques creuses (figure 5). La déformée de la structure est donnée sur la figure (6). Une comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux (figure 7) montre la capacité du modèle à prédire qualitativement le comportement global du mur sous compression diagonale. Une comparaison plus précise (diagramme contraintes-déplacements) est en cours.

Références

- [1] F. Fouchal, F. Lebon, I. Titeux. Contribution to the modelling of interfaces in masonry construction. *Construction and Building Materials*, à paraître, 2009.
- [2] A. Gabor, A. Bennani, E. Jacquelin, F. Lebon. Modelling approaches of the in-plane shear behaviour of unreinforced and FRP strengthened masonry panels. *Comp. Struct.*, 74, 277–288, 2008.

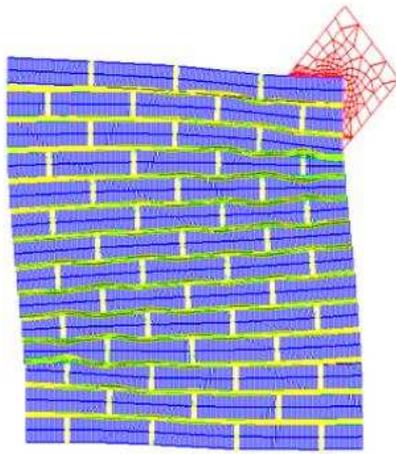


Figure 6 – Essai de compression diagonale : déformée de la structure.

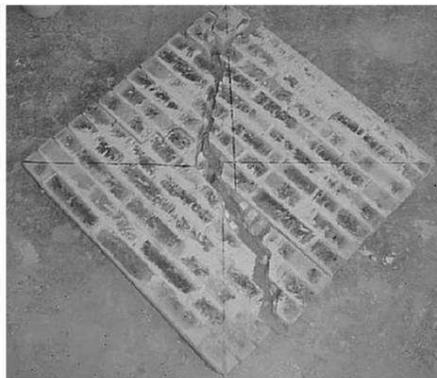


Figure 7 – Essai de compression diagonale : résultat expérimental.

- [3] C. Licht, G. Michaille. A Modeling of elastic adhesive bonded joints. *Adv. Math. Sci. Appl.*, 7, 711–740, 1997.
- [4] C. Mauge, M. Kachanov. Effective elastic properties of an anisotropic material with arbitrarily oriented interacting cracks. *J. Mech. Phys. Solids*, 42, 561–584, 1994.
- [5] C. Pelissou, F. Lebon. Asymptotic modeling of quasi-brittle interfaces. *Comput. & Struct.*, à paraître, 2009.
- [6] A. Rezik, F. Lebon. Homogenization methods for interface modelling in damaged masonry. *Proc. Sixth Int. Conf. on Engng. Comp. Tech.*, M. Papadrakakis and B.H.V. Topping, (Editors), Civil-Comp Press, 2008.
- [7] P. Suquet, M. Bornert. Calcul tensoriel et élasticité, in : Bornert M., Bretheau T., Gilormini P. (Eds), *Homogénéisation en mécanique des matériaux*, tome 2, Hermès Science Publications, chapitre 5, 171–202, 2001