



**HAL**  
open science

## **Etude expérimentale du comportement en compression de joints secs de maçonneries réfractaires avec corrélation d'image**

Samir Allaoui, Amna Rekik, Alain Gasser, Eric Blond, Kirill Andreev, Sido Sinnema

### **► To cite this version:**

Samir Allaoui, Amna Rekik, Alain Gasser, Eric Blond, Kirill Andreev, et al.. Etude expérimentale du comportement en compression de joints secs de maçonneries réfractaires avec corrélation d'image. 4ème Journées Spécialisées sur les Céramiques Réfractaires, Nov 2012, Mons, Belgique. <hal-00772686>

**HAL Id: hal-00772686**

**<https://hal.science/hal-00772686v1>**

Submitted on 10 Jan 2013

**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.



HAL Authorization

# Etude expérimentale du comportement en compression de joints secs de maçonneries réfractaires avec corrélation d'images

S. Allaoui<sup>1</sup>, A. Rekik<sup>1</sup>, A. Gasser<sup>1</sup>, E. Blond<sup>1</sup>, K. Andreev<sup>2</sup>, S. Sinnema<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : Laboratoire PRISME, EA 4229, Université d'Orléans, Polytech Orléans, 8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans Cedex2, France

<sup>2</sup>: Ceramic Research Centre, Tata Steel, Rooswijkweg 211, 1951MD Velsen Noord, Pays bas.

[samir.allaoui@univ-orleans.fr](mailto:samir.allaoui@univ-orleans.fr)

## Résumé

Ce travail propose une caractérisation expérimentale et phénoménologique du comportement de joints secs (sans mortier) de maçonneries réfractaires en utilisant la méthode de mesure optique par corrélation d'images numériques. Les résultats ont mis en évidence le rôle des imperfections géométriques des interfaces et des défauts de forme des briques sur le comportement en compression de joints secs. Ainsi, l'épaisseur totale des joints est hétérogène et essentiellement générée par les défauts géométriques. Par ailleurs, le champ de déformation du joint jusqu'à fermeture totale a montré un comportement hétérogène et non linéaire qui dépend de la zone de mesure. Le phénomène d'ouverture locale du joint, dû à un mouvement de corps rigide, a été observé.

## Introduction

Certains garnissages de fours sidérurgiques sont maçonnés avec des briques réfractaires posées en contact direct les unes avec les autres (sans mortier). La jonction entre les briques génère un joint dit « joint sec ». Ces joints, dont l'épaisseur est généralement faible, sont essentiellement dus aux rugosités et aux défauts géométriques des briques. En service, ces structures sont exposées à des températures élevées qui engendrent des dilatations thermiques et des états de compression élevés et où les joints jouent un rôle important. En effet, lorsque la charge thermique est appliquée, la dilatation thermique des briques tend à remplir les vides des joints dans un premier temps. Une fois que le joint est fermé, les contraintes augmentent comme si la maçonnerie était seulement formée de briques réfractaires. Lors de la modélisation de ces structures, la connaissance du comportement thermomécanique des composants (briques et joints) est nécessaire [1, 2]. La caractérisation du comportement en compression des joints secs devient dès lors essentielle pour parvenir à une évaluation quantitativement juste des niveaux de contraintes atteints et de leur répartition. Cette étude propose une investigation expérimentale du comportement des joints secs à travers des essais de compression en utilisant la corrélation d'images numériques (DIC).

## Travail expérimental, résultats, discussions.

Deux types de briques, fréquemment utilisées dans les garnitures sans mortier de structures réfractaires, ont été utilisés pour cette étude. Il s'agit de la Magnésie-Carbone (MaC) et la Magnésie-Chrome (MCh). Des échantillons parallélépipédiques ont été découpés à des dimensions représentatives. Ils ont été par la suite utilisés pour réaliser des essais de compression, à température ambiante, de sandwichs brique/joint-sec/brique sur une machine universelle. La mesure des champs de déformation et de déplacement a été effectuée avec la méthode de la corrélation d'images numériques (DIC) qui permet d'accéder à la fois au comportement global et local [3-6]. Une caméra CCD de résolution 1,5 méga pixel a été utilisée pour prendre des images au fur et à mesure de l'essai avant de les traiter avec le logiciel 7D [5, 6]. La technique de corrélation consiste à mettre en correspondance deux images numériques à deux états distincts de déformation: un état de référence et l'autre déformé. Le principe consiste à discrétiser l'image, ou une portion, à l'aide d'une grille virtuelle en sous domaines dit « quadrilatères » de dimensions unitaires réglables dans un premier temps, puis retrouver par correspondance leurs positions dans l'image déformée en évaluant la ressemblance des niveaux de gris de chaque sous-domaine. Pour mener à bien cette procédure, il est nécessaire de disposer d'un motif sur chaque domaine présentant des variations spatiales de niveaux de gris dans les images. Dans notre cas, les motifs naturels aléatoires du niveau de gris des matériaux ont été suffisants pour l'utilisation de cette technique.

Dans un premier temps, l'optimisation et la validation de la mesure optique à l'aide d'une étude paramétrique de la dimension des quadrilatères a été menée. Cette étude a permis de mettre en place un protocole de mesure avec les paramètres optimaux. La mesure ne pouvant être effectuée sur toute la longueur du même joint sec, à cause des défauts géométriques des briques, plusieurs mesures locales sur différentes zones le long du joint ont été effectuées puis moyennées. Pour chaque zone, une ligne de quadrilatère a été centrée sur le joint. Cette validation a permis de déterminer la dimension optimale des quadrilatères qui est de l'ordre de 6 pixels correspondant à 0,46mm et qui permet de mesurer les champs de déplacement et de déformation du joint jusqu'à

sa fermeture. L'épaisseur totale estimée du joint sec dans le cas de la Magnésie-Carbone est de l'ordre de 0,92mm, alors que la somme des rugosités mesurées des deux briques ne fait que 0,024mm. Ceci implique que les joints secs sont essentiellement générés par les défauts géométriques au détriment des rugosités.

Lors des essais, la fermeture des joints secs est atteinte après un déplacement local mesuré variant de 0,025mm à 0,25mm (moyenne par échantillon entre 0,03mm et 0,13mm). Cette variabilité des résultats, obtenus entre différents essais d'un même matériau mais aussi pour différentes zones d'un même essai, implique que localement la dimension du joint et son comportement sont variables. Les courbes de fermeture des joints secs et des déformations normales induites sont fortement non linéaires et ont une forme exponentielle (figure 1). La première partie de la courbe est celle qui est la plus riche en phénomènes et la plus sensible aux défauts géométriques. En effet, durant cette étape un écrasement des rugosités se produit engendrant une augmentation de la surface de contact entre les deux briques qui conduit à une augmentation progressive de la réaction de compaction. Ceci induit des déplacements et des déformations normales ( $\epsilon_{yy}$ ) importants à de faibles contraintes. Par ailleurs, vues les faibles contraintes un glissement relatif se produit entre les briques, induisant une déformation de cisaillement ( $\epsilon_{xy}$ ), jusqu'à atteindre une position relative d'équilibre entre les briques. En outre, lors de certains essais, on a remarqué le phénomène « d'ouverture de joint » dû aux défauts de planéité et de parallélisme et qui consiste en un déplacement de corps rigide (Figure 2). Il se manifeste par une rotation de la brique supérieure provoquant une déformation normale de traction d'un côté et de compression de l'autre côté de l'échantillon. Une fois la position d'équilibre atteinte, l'effort augmente jusqu'à atteindre une fermeture totale du joint qui correspond à une courbe quasi-verticale qui tend vers celle du comportement de la brique.

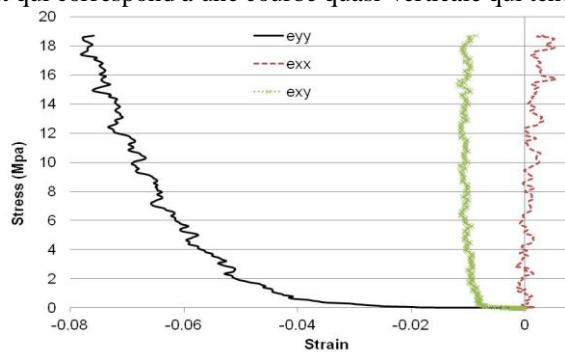


Figure 1 : Déformations mesurées sur un joint sec (MaC)

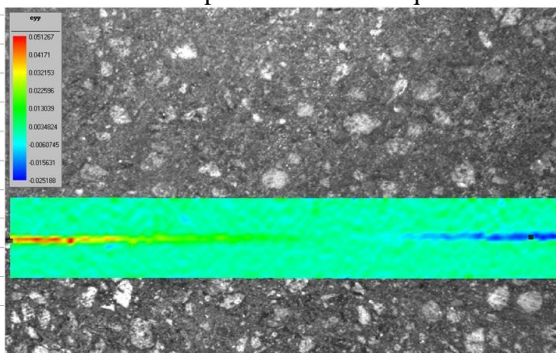


Figure 2 : Champs de déformation mesurée lors de l'ouverture de joint (MaC).

## Conclusion

L'étude du comportement de joints secs de maçonnerie réfractaire en utilisant la méthode de corrélation d'images numériques a été proposée. L'analyse du comportement local et global, accessible à travers la DIC, a permis de mettre en évidence le rôle des imperfections géométriques des interfaces et des défauts de forme des briques sur le comportement en compression de joints secs. En effet, cette étude a permis de mettre en évidence que l'épaisseur du joint sec est essentiellement générée par les défauts géométriques. Un comportement fortement non linéaire et hétérogène sur la longueur totale du joint a été observé. La première partie de ce comportement a montré des déformations normales et de cisaillement importantes et qui sont dues à l'écrasement des rugosités et le glissement relatif entre les briques. Par ailleurs, l'ouverture locale du joint due aux défauts géométriques a été observée. Les perspectives de cette étude sont d'étendre cette caractérisation à des températures de services des structures concernées.

Les auteurs remercient Tata steel et la fédération FIRE (Federation of International Refractory Research and Education) pour le soutien financier de ce travail.

## Bibliographie

1. Nguyen TMH, Blond E, Gasser A, Prietl T. *Mechanical homogenisation of masonry wall without mortar*. *European Journal of Mechanics - A/Solids* May-June 2009; Vol 28, Issue 3:535-44
2. Gasser A, Terny-Rebeyrotte K, Boisse P. *Modelling of joint effects on refractory lining behaviour*. *J. Materials: Design and Applications*, Part L, 2004, Vol. 218, Issue 1: 19-28.
3. Sutton, M., Wolters, W. J., Peters, W. H., Ranson, W. F. and McNeill, S. R. *Determination of displacements using an improved digital correlation method*, *Image & Vision Computing*, 1983, Vol. 1-3: 133-139.
4. Peters WH, Ranson WF. *Digital imaging techniques in experimental stress analysis*. *Optical Engineering*, 1982, 21(3):427-31.
5. Vacher, P., Dumoulin, S. and Arrieux, R. *Determination of the forming limit diagram from local measurement using digital image analysis*., *I.J. Forming Processes*, 1999, Vol. 2, Issue 3-4: 395-408.
6. Vacher, P., Dumoulin, S., Morestin, F., Mguil-Touchal, S., *Bidimensional strain measurement using digital images*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 213, 1999, 811-817.