
Comportement expérimental global et local des couvre-joints avec trous oblongs

Edouard Cavène^{1,2}, Sébastien Durif^{1,2}, Abdelhamid Bouchaïr^{1,2}, Evelyne Toussaint^{1,2}

¹ Université Clermont Auvergne, Institut Pascal, Campus Universitaire des Cézeaux, 4 Avenue Blaise Pascal, 63178 Aubière, France

² CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63178, Aubière, France

RÉSUMÉ. De nos jours, l'architecture a tendance à associer différents matériaux. Ces matériaux présentent des comportements différents face aux variations thermiques. Cette association induit donc de nouvelles problématiques liées à des gradients de déformations thermiques à l'interface entre ces matériaux. Les trous oblongs présentent un intérêt particulier dans ce contexte car ils permettent de libérer les déplacements dans une direction tout en assurant une reprise totale des efforts dans la direction perpendiculaire au trou. Le comportement de tels assemblages est assez peu documenté dans la littérature. Ainsi, ce travail s'attache à étudier le comportement d'assemblages présentant des trous oblongs d'un point de vue global en terme de résistance et raideur avant d'approfondir au niveau local en utilisant une technique de mesure de champs sans contact (corrélation d'image). Ce travail pour but de développer ultérieurement des modèles analytiques pour prédire le comportement de tels assemblages.

ABSTRACT. Today, architecture tends to mix different materials. These materials presents very different behavior regarding to thermal variations. So, new challenges are raised in order to managed large gradients of thermal deformations in the connection zone between to different materials. Cover-plate with slotted holes are very interesting in that context because they allows to release a degree of freedom along the hole while the perpendicular one is blocked. However, few studies deals with the behavior of such connections. Face to the lack of knowledge, this work studies the global behavior of cover-plates with slotted holes with the strength and the stiffness before leading to a more in-depth study using full field measurement method (DIC). This work raises the bases of a future development of an analytical model describing the behavior of cover-plate with slotted-holes.

MOTS-CLÉS : Étude expérimentale ; couvre joints ; trous oblong ; Eurocode 3 ; corrélation d'image.

KEY WORDS: Experimental tests ; cover-plate joints ; slotted holes ; Eurocode 3 ; DIC.

1. Introduction

Les choix architecturaux d'aujourd'hui tendent associer différents matériaux. Cependant, l'assemblage de différents matériaux implique la mise en place de systèmes permettant de gérer des gradients de déformations thermiques entre les matériaux dans les zones d'assemblages. Ainsi, les trous oblongs trouvent toute leur place dans ce contexte. Cependant, même dans le cas d'assemblage avec des matériau de même nature (métal-métal) le comportement de ces assemblages tant au niveau global (calcul des raideurs et efforts caractéristiques de l'assemblage) qu'au niveau local (cinématique de déformation) reste très peu traité. Au niveau global, l'étude de Wald et al [WSMM04] s'attache à traiter la raideur de tels assemblages. Ici, la DIC est utilisée pour caractériser la raideur initiale. Au niveau local, la ruine de la pince longitudinale de l'assemblage permet de prétendre à une grande ductilité en pression diamétrale. Ce travail s'inspire des techniques adoptées pour l'étude des couvre-joints avec trou circulaire [TDBG17]. En effet, le suivi des déformations par mesure de champs dans la pince longitudinale pour différentes géométries permet de mettre en évidence deux modes de ruines bien distincts. Ici, c'est la DIC qui est utilisée à cause des niveaux de déformations bien plus importants que pour l'étude des couvre-joints avec trous circulaire [TDBG17] tout en proposant une résolution de mesure de qualité [RTJB17].

2. Contexte expérimental

2.1. Géométrie des éprouvettes testées

Deux géométries d'éprouvettes sont étudiées. Les paramètres géométriques sont présentés en Figure 1. Seule la valeur de la pince longitudinale e_3 varie afin d'avoir une valeur hors du cadre de l'Eurocode pour E1-1 et dans le cadre pour E1-1.5.

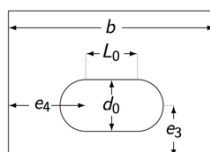


Figure 1. Paramètres géométriques

Les valeurs des pinces longitudinales et transversales, longueur et diamètre du trou sont résumées dans le Tableau 1.

Éprouvettes	d_0 (mm)	L_0 (mm)	e_3 (mm)	e_4 (mm)
E1-1	13	13	13	26
E1-1.5			19,5	

Tableau 1. Géométrie des éprouvettes

2.1. Caractéristiques mécaniques des matériaux

Le matériau utilisé pour réaliser les éprouvettes tests sont issues d'une même tôle de 6mm d'épaisseur de limite élastique f_y 374 ± 3 MPa et de limite ultime f_u 473 ± 1 MPa. Les boulons utilisés sont des M12 de classe 12.9.

2.2. Montage des éprouvettes

Le principe du montage des éprouvettes est présenté en Figure 2. Au cours de l'essai, le boulon est mis en flexion par double cisaillement. Une rotule plastique se développe alors. Les deux capteurs de déplacements permettent d'évaluer la rotation du boulon due à cette rotule au cours de l'essai. De cette manière, le déplacement relatif du boulon par rapport à la plaque est mesuré plus finement.

2.1. Résolution des capteurs de déplacement et résolution de mesure en DIC

Afin d'évaluer les limites de mesure, il est nécessaire de connaître la résolution des capteurs de déplacement et de déterminer la résolution de mesure en corrélation d'image. Concernant les capteurs de déplacement, les LVDT ont une précision inférieure au centième de millimètre. D'un autre côté, la prise d'image pour la DIC est effectuée avec une caméra refroidie PCO2000 dotée d'un capteur encodée en 14 bit. La corrélation est effectuée par le logiciel Ncorr [BIAA15]. La résolution de mesure en déplacement obtenue est de l'ordre de 3 millième de pixels.

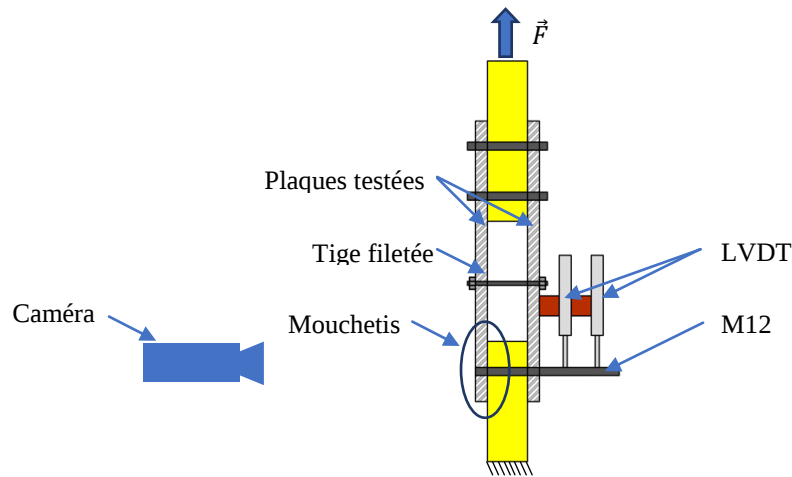


Figure 2. Montage des éprouvettes

3. Résultats et discussions

3.1. Courbes force-déplacement

Les courbes force-déplacement pour les éprouvettes E1-1 et E1-1.5 sont présentées en Figure 3. Chaque configuration a été testée avec deux jeux d'éprouvettes. C'est pourquoi les notations en légende présentent des indices 1 et 2 pour chaque géométrie. Les courbes des éprouvettes E1-1 sont à priori tout à fait similaire entre elles contrairement à E1-1.5 où une certaine dispersion est visible entre courbe en DIC et LVDT. Les éprouvettes n'ayant développées aucun mouvement hors plan, seule la partie de mise en place et de rotation du boulon n'est pas assez bien corrigée par la disposition des capteurs. L'observation des valeurs de raideurs permet de mettre en évidence ce phénomène.

3.2. Comparaison des raideurs par DIC et LVDT (Comportement global)

Les valeurs des raideurs issues de la corrélation et des LVDT pour les deux éprouvettes sont obtenues à partir du calcul de la dérivée temporelle de l'effort. Elles sont présentées dans le tableau **Tableau 2**. Les raideurs issues des LVDT ou de la DIC sont du même ordre de grandeur (15% d'écart) pour E1-1 contrairement à E1-1.5 où une différence de l'ordre de 50% est observée. Du fait de la rigidité importante de la pince longitudinale pour E1-1.5, des phénomènes de rotations et d'effet de mise en place du boulon sont présents. Ces phénomènes influent largement sur la mesure du déplacement par le LVDT fixé sur l'éprouvette. La DIC (sous réserve de l'absence de mouvement hors plan), étant une mesure sans contact, semble donc plus adaptée à la mesure de ces déplacements afin de s'affranchir de ces questions de rotation du boulon et de mise en place de l'éprouvette dans la machine d'essai.

Éprouvette	K_{initial} en kN/mm (LVDT)	K_{initial} en kN/mm (DIC)
E1-1	40,3±0,3	47,4±2,8
E1-1.5	50,9±3,32	76,6±4,4

Tableau 2. Raideurs initiales des éprouvettes

3.3. Mise en évidence de deux modes de comportement (Comportement local)

Les **Figure 4 a)** et **b)** présentent des cartes de déformations caractéristiques des modes de comportement de ces assemblages. L'éprouvette E1-1 présente un mécanisme de déformation avec le développement de trois rotules dans la pince longitudinale après le changement de pente de la courbe force-déplacement (**Figure 3**). Les rotules sont traduites par le développement de lobes de déformations positives et négatives en vis-à-vis le long des 3 lignes verticales de la figures 4 a). Par ailleurs, après le changement de pente, E1-1.5 présente lui une pénétration du boulon dans la pince longitudinale qui se traduit par un flux de déformations négatives le long de la ligne verticale sur la figure 4b). L'étude du comportement local permet de mettre en évidence la présence deux modes de comportement différents en fonction de la taille de la pince longitudinale.

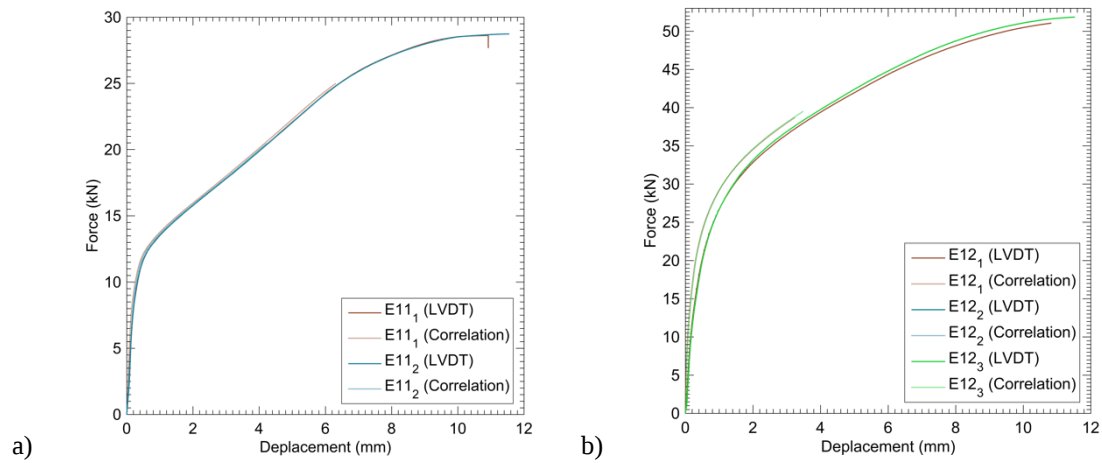


Figure 3. Courbes force-déplacement a) E1-1, b) E1-1.5

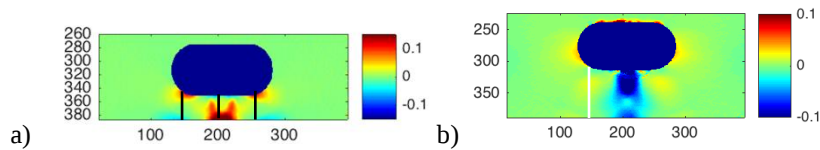


Figure 4. a) Déformation ε_{xx} E1-1 à 17,7kN et b) Déformation ε_{yy} E1-1.5 à 36kN

4. Conclusion

L'étude présentée permet de mettre en évidence des modes de ruines différents fonction de la taille de la pince longitudinale. En effet, la DIC apporte des informations cinématiques mettant en lumière des mécanismes de déformation des assemblages avec trous oblongs. Ces résultats devraient permettre de mieux modéliser le comportement de tels assemblage en vue du développement d'un modèle analytique.

5. Bibliographie

- [BIAA15] BLABER, J. ; ADAIR, B. ; ANTONIOU, A.: Ncorr: Open-Source 2D Digital Image Correlation Matlab Software. In: *Experimental Mechanics* Bd. 55 (2015), Nr. 6, S. 1105–1122
- [RTJB17] REU, P. L. ; TOUSSAINT, E. ; JONES, E. ; BRUCK, H. A. ; IADICOLA, M. ; BALCAEN, R. ; TURNER, D. Z. ; SIEBERT, T. ; U. A.: DIC Challenge: Developing Images and Guidelines for Evaluating Accuracy and Resolution of 2D Analyses. In: *Experimental Mechanics* (2017)
- [TDBG17] TOUSSAINT, E. ; DURIF, S. ; BOUCHAÏR, A. ; GRÉDIAC, M.: Strain measurements and analyses around the bolt holes of structural steel plate connections using full-field measurements. In: *Engineering Structures* Bd. 131 (2017), S. 148–162
- [WSMM04] WALD, FRANTIŠEK ; SOKOL, ZDENĚK ; MOAL, MATTHIEU ; MAZURA, VRATISLAV ; MUZEAU, JEAN-PIERRE: Stiffness of cover plate connections with slotted holes. In: *Journal of Constructional Steel Research* Bd. 60 (2004), Nr. 3–5, S. 621–634