

# **SURFACE SCIENCE WESTERN**

## **RAPPORT SUR L'ÉVALUATION DES BOULONS FOURNIS PAR LE MTO**

Préparé par :

**S. Ramannurthy<sup>1</sup>, R. J. Klassen<sup>2</sup>, ingénieur, F. M. Bartlett<sup>2</sup>, ingénieur,  
B. Kobe<sup>1</sup> et David Shoosmith<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Surface Science Western**

**<sup>2</sup>Faculté de génie**

**Université Western, London (Ontario) CANADA**

Préparé pour le :

**Ministère des Transports de l'Ontario (MTO)  
Bureau de la région du Nord-Ouest  
615, rue James Sud  
Thunder Bay (Ontario) P7E 6P6  
Canada**

18 avril 2016

Référence SSW : 03116.MTO

## RÉSUMÉ

Le laboratoire Surface Science Western de l'Université Western a reçu, le 22 janvier 2016, 14 morceaux de boulons de 7/8 po de diamètre ayant fait défaillance en service et, le 29 février 2016, 10 boulons de 7/8 po de diamètre, dont huit étaient intacts, qui n'avaient pas fait défaillance en service. Les deux ensembles de morceaux de boulons ont été évalués au moyen d'un certain nombre de techniques analytiques afin de déterminer 1) la composition chimique, 2) les propriétés mécaniques (limite d'élasticité conventionnelle, résistance à la traction, dureté et résistance au choc Charpy sur éprouvette entaillée en V), 3) l'état de la surface de rupture et 4) la nature des produits de corrosion apparaissant sur la surface de rupture.

On a procédé à des essais chimiques sur des ébauches usinées à partir de deux morceaux de boulons reçus le 22 janvier 2016. La composition chimique satisfait aux exigences relatives aux boulons de type 1 et de type 3 conformément à la norme A490-14a « Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength » de l'ASTM.

Sept spécimens fabriqués à partir des morceaux de boulons reçus le 22 janvier 2016 ont été soumis à des essais de résistance au choc Charpy sur éprouvette entaillée en V. Un spécimen testé à -60 °C présentait une énergie absorbée de 27 J, soit le minimum spécifié pour les éléments sensibles à la rupture au tableau 10.2 du Code canadien sur le calcul des ponts routiers de 2010. Les essais ont indiqué de façon concluante que ce métal subit une rupture ductile lorsqu'il est soumis à une charge à des températures se situant entre -20 °C et -30 °C.

De petits spécimens d'essai en tension ont été fabriqués à partir de trois morceaux de boulons reçus le 22 janvier 2016 et testés conformément à la norme E8/E8M-15a « Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials » de l'ASTM. Tous les spécimens ont satisfait aux exigences en matière de résistance, notamment les exigences de limite d'élasticité conventionnelle à un décalage de 2 % et de résistance ultime à la traction et l'exigence de réduction de superficie à la rupture de la norme A490-14a de l'ASTM. Il a été impossible de vérifier l'exigence d'allongement sur

50 mm, car les courts morceaux de boulons fournis limitaient la longueur entre repères des spécimens d'essai.

Les huit boulons intacts reçus le 29 février 2016 ont été testés en grandeur réelle, dont quatre avec un coin de 10 degrés sous la tête, conformément à la norme F606/F606M-14a « Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, Direct Tension Indicators and Rivets » de l'ASTM, et les quatre autres avec une rondelle conique de 1 degré sous la rondelle ronde et l'écrou. Tous les boulons ont satisfait aux exigences de la norme A490 « Proof Load and Tensile Load requirements » de l'ASTM.

De petits spécimens d'essai en tension ont été fabriqués à partir de trois boulons reçus le 29 février 2016 et testés conformément à la norme E8/E8M-15a de l'ASTM. Tous les boulons ont satisfait aux exigences en matière de résistance, notamment les exigences de limite d'élasticité conventionnelle à un décalage de 2 % et de résistance ultime à la traction et l'exigence de réduction de superficie à la rupture de la norme A490-14a de l'ASTM. Aucun n'a satisfait à l'exigence d'allongement à la rupture minimum de 14 % dans une longueur entre repères de 50 mm. Les différences entre les valeurs moyennes de résistance et de réduction de surface à la rupture pour les spécimens usinés à partir des morceaux de boulons reçus le 22 janvier 2016 et à partir des boulons reçus le 29 février 2016 étaient inférieures à 1,5 % et généralement peu importantes d'un point de vue statistique. Le fait que de petits spécimens d'essai en tension usinés à partir de ces boulons n'ont pas satisfait à l'exigence d'allongement à la rupture minimum de la norme A490-14a de l'ASTM indique une incohérence apparente dans la norme : les essais en grandeur réelle ne nécessitent aucun allongement minimum à la rupture, contrairement aux petits spécimens d'essai en tension.

Des études des surfaces de rupture ont été menées sur les 14 boulons reçus le 22 janvier 2016 et trois boulons reçus le 29 février 2016 après qu'ils ont été testés en grandeur réelle. Les conclusions suivantes ont été tirées :

1. La rupture commençait à la racine d'un filet et se prolongeait directement en travers du boulon parallèlement à l'écrou, provoquant une surface de rupture essentiellement plane, ou en suivant un angle en travers du boulon jusqu'à la racine d'un filet se trouvant sous l'écrou.

2. L'apparence des surfaces de rupture laisse supposer que les fissures ont commencé à se former sur des côtés opposés du boulon et se sont propagées ensemble en raison d'une charge de traction cyclique alternante jusqu'à ce que la rupture ductile finale de la région centrale survienne.
3. Les surfaces de rupture ne présentaient pas de stries claires et régulièrement espacées caractéristiques de la propagation des fissures de fatigue polycyclique. Il a donc été impossible d'estimer le nombre de cycles de charge auxquels les boulons ont été soumis avant le bris.
4. Des mesures de dureté à la micropénétration exécutées sur le plan médian poli d'un boulon reçu le 22 janvier 2016 indiquaient une dureté Rockwell C moyenne de  $35 \pm 2$  HRC, ce qui se situe à l'intérieur des limites de dureté spécifiées dans la norme A490 de l'ASTM.
5. Certains des boulons reçus le 29 février 2016 présentaient des fissures préexistantes fortement oxydées de 100 ou 200  $\mu\text{m}$  de longueur émanant des côtés et de la partie supérieure des filets. Toutefois, en raison de leur éloignement de la racine du filet, il est impossible de conclure que ces fissures préexistantes ont influé sur le processus de rupture des boulons.

Des analyses des produits de corrosion par microscopie visuelle et optique ont été menées sur des morceaux de cinq boulons différents reçus le 22 janvier 2016. Trois régions distinctes ont été observées, celles-ci étant désignées comme présentant une « couleur grise », un « dépôt blanc » et une « corrosion importante ». Les analyses par microscopie électronique à balayage/rayons X à dispersion d'énergie, spectrométrie photoélectronique X et spectroscopie de Raman ont révélé ce qui suit :

6. Les régions de couleur grise étaient composées d'un mélange de différentes formes d'oxydes de fer avec des quantités plus faibles d'hydroxydes de fer. Certains points à l'intérieur de ces régions contenaient une mince couche d'oxyde/d'hydroxyde, comme en témoigne la détection du substrat de fer dans les analyses par spectrométrie photoélectronique X.
7. On a déterminé que les régions présentant un dépôt blanc étaient enrichies de carbonate, principalement sous forme de carbonate de sodium. La source de ce carbonate est actuellement indéterminée.

8. Les régions fortement corrodées présentaient des quantités plus importantes d'hydroxyde de fer, comparativement aux phases d'oxyde de fer, ce qui correspond aux attentes en présence de chlorure.