



DIRECTION DES SERVICES À L'APPUI DES OPÉRATIONS
RAPPORT DU LABORATOIRE D'INGÉNIERIE

LP184/2013

Examen de la mâchoire d'attelage et de son pivot

Montreal, Maine & Atlantic Railway Train, MMA 2

Date de l'événement: 06-juillet-2013

À NOTER :

DROIT D'AUTEUR DE LA COURONNE. LE PRÉSENT RAPPORT EST DIFFUSÉ UNIQUEMENT À DES FINS DE SÉCURITÉ ET IL PEUT ÊTRE MODIFIÉ AVANT OU APRÈS LA DIFFUSION DU RAPPORT FINAL DU BST. LA REPRODUCTION DU PRÉSENT DOCUMENT, EN TOUT OU EN PARTIE, PEUT UNIQUEMENT ÊTRE AUTORISÉE À LA SUITE D'UNE DEMANDE AU BST. LA DIFFUSION À L'EXTÉRIEUR DU BST DOIT ÊTRE ÉVALUÉE PAR LE BUREAU DE L'ACCÈS À L'INFORMATION ET PROTECTION DES RENSEIGNEMENTS PERSONNELS

NUMÉRO DE L'ÉVÉNEMENT	CLASSIFICATION DE L'ÉVÉNEMENT	NOMBRE DE PAGES	NOMBRE D'ANNEXES	LA PUBLICATION HORS DU BST REQUIERT LA RÉVISION DU (DE LA) COORDONNATEUR(TRICE) DE L'ACCÈS À L'INFORMATION.	OUI	NON
R13D0054	2	12	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PRÉPARÉ PAR

Original en anglais signé par

T.A. Lang, CET (Technologiste principal en ingénierie - Matériels)

APPROUVÉ PAR

Original en anglais signé par

S. Dionne, Ph.D. (Gestionnaire, Analyse du matériel et des structures)

DIFFUSÉ PAR

Original en anglais signé par

L. Donati, Ph.D. (Directeur, Services à l'appui des opérations)

DIFFUSÉ LE

03 février 2014

RÉVISION

Table des matières:

1.0 INTRODUCTION 1
2.0 EXAMEN 1
3.0 DISCUSSION 3
4.0 CONCLUSION 3

Liste des tableaux:

Tableau 1: Inscriptions sur les mâchoires et leur pivot 1

Liste des figures:

Figure 1: Photographie de la mâchoire rompue provenant de l'extrémité arrière de la locomotive MMA 5026 - remarquez les parties manquantes de la mâchoire et de son pivot (flèche rouge) 5
Figure 2: Photographie de la mâchoire d'attelage rompue à l'extrémité avant du wagon couvert (CIBX 172032) 5
Figure 3: Mâchoire d'attelage de la locomotive et son pivot à leur réception 6
Figure 4: Mâchoire d'attelage du wagon couvert à sa réception 6
Figure 5: Surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges pointent vers les fissures de fatigue antérieures à l'accident sur le rayon intérieur 7
Figure 6: Surface de rupture du pivot de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges pointent vers la fissure de fatigue antérieure à l'accident 7
Figure 7: Zone sur la surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive, avec les fissures de fatigue antérieures à l'accident (flèches rouges) 8
Figure 8: Surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges montrent la direction de la défaillance par surcharge de traction. 8
Figure 9: Rayon intérieur de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges pointent vers les dommages mécaniques causés très probablement par une meuleuse. Remarquez la fissure qui s'est ouverte au cours de la rupture de la mâchoire (flèche bleue) 9
Figure 10: Micrographie de la microstructure de martensite trempée et revenue de la mâchoire d'attelage de la locomotive 9
Figure 11: Micrographie d'une fissure (flèche rouge) sur le rayon intérieur de la mâchoire d'attelage de la locomotive, à côté de la fissure de fatigue 10
Figure 12: Défaut de moulage et fissure de fatigue sur la surface de rupture de la mâchoire d'attelage du wagon couvert (flèche rouge) 10
Figure 13: Les flèches rouges indiquent la direction de la défaillance par surcharge en torsion sur la surface de rupture de la mâchoire d'attelage du wagon couvert 11
Figure 14: Les flèches rouges pointent vers la marque d'impact sur la mâchoire d'attelage du wagon couvert 11
Figure 15: Micrographie de la microstructure de martensite trempée et revenue de la mâchoire d'attelage du wagon couvert 12

1.0 INTRODUCTION

- 1.1 Le 6 juillet 2013, un train-bloc transportant du pétrole brut et exploité par la Montreal, Maine & Atlantic Railway déraile à Lac-Mégantic (Québec). Le train comporte 5 locomotives en tête, 1 fourgon VB (fourgon de queue spécial), 1 wagon couvert et 72 wagons-citernes de la classe 111. Soixante-trois (63) des wagons-citernes et le wagon couvert dérailent. De nombreux wagons-citernes se rompent et un incendie s'ensuit. Les 5 locomotives et le fourgon VB ne quittent pas les rails et parcourent une distance d'environ 4 435 pieds au-delà du point de déraillement avant de s'immobiliser.
- 1.2 L'enquête sur le terrain a révélé que la mâchoire d'attelage et son pivot à l'extrémité arrière de la deuxième locomotive, la MMA 5026, avaient lâché (figure 1). Il en était de même de la mâchoire d'attelage à l'extrémité avant du wagon couvert (CIBX 172032) (figure 2). On a envoyé les 2 mâchoires au Laboratoire d'ingénierie du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) pour déterminer la cause possible des défaillances.
- 1.3 La mâchoire est la partie de l'attelage qui s'emboîte dans l'attelage opposé. Elle est commandée par des articulations à l'intérieur de l'attelage qui lui permettent de s'ouvrir et de se fermer, la verrouillant dans la position engagée. Le pivot qui avait lâché sur la mâchoire d'attelage de la locomotive agit comme point de pivotement de la mâchoire quand celle-ci s'ouvre et se ferme.

2.0 EXAMEN

- 2.1 Les figures 3 et 4 montrent les mâchoires d'attelage de la locomotive et du wagon couvert à leur réception. Le tableau 1 montre les inscriptions observées sur les mâchoires.

Tableau 1: Inscriptions sur les mâchoires et leur pivot

Mâchoire d'attelage de la locomotive	Pivot de la mâchoire de la locomotive	Mâchoire d'attelage du wagon couvert	Signification des inscriptions
F51AC	-	E50ARE	Numéro de pièce
1223	-	8690	Numéro de série
M&T	GB	M&T	Fabricant

- 2.2 Mâchoire d'attelage de la locomotive et son pivot
- 2.2.1 On a nettoyé la mâchoire et son pivot avant d'en faire l'examen. Les figures 5 et 6 montrent respectivement la surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive et celle de son pivot. La figure 7 est un gros plan de la zone adjacente au rayon intérieur de la mâchoire où des fissures de fatigue étaient visibles sur la surface de rupture. Les fissures de fatigue présentaient un aspect rouillé foncé qui suggérait qu'elles existaient depuis quelque temps. Le reste de la surface de rupture avait un aspect rugueux compatible avec une défaillance en mode de surcharge. Des lèvres de cisaillement à l'opposé de la zone de fatigue et l'orientation des crêtes sur la surface de rupture indiquent la direction de la défaillance, depuis le rayon intérieur jusqu'au rayon extérieur (voir les flèches

- dans la figure 8); ce type de défaillance concorde avec une charge de traction agissant sur la mâchoire.
- 2.2.2 Sur le rayon intérieur adjacent à la zone de fatigue (figure 9), on a remarqué des dommages mécaniques, des rayures parallèles et des fissures secondaires. L'aspect des rayures était compatible avec des marques de meulage. Les fissures secondaires se sont probablement formées par suite des charges de traction qui ont causé la défaillance de la mâchoire.
- 2.2.3 La tige du pivot de la mâchoire avait une longueur totale de 13,5 pouces et s'était rompue à 3 pouces sous la tête (figure 6). La surface de rupture du pivot comportait une petite fissure de fatigue antérieure à l'accident d'environ 10 mm de largeur et 4 mm de profondeur. Le reste de la surface de rupture présentait un aspect rugueux avec des crêtes émanant de la petite fissure de fatigue; cet état était conforme à une surcharge provoquée par une charge en flexion. La fissure de fatigue a très probablement agi comme amorce de la défaillance du pivot.
- 2.2.4 On a prélevé une coupe transversale métallurgique dans la fissure de fatigue du rayon intérieur de la mâchoire. Une attaque chimique dans une solution à 2 % de nital a révélé une microstructure de martensite trempée et revenue (figure 10). La coupe transversale a révélé aussi de petites fissures secondaires à la surface du rayon intérieur de la mâchoire (exemple représentatif montré dans la figure 11). Il n'y avait aucun signe d'une microstructure transformée qui aurait pu indiquer des dommages thermiques causés par un meulage.
- 2.2.5 Des essais de dureté Rockwell A effectués sur le matériau de la mâchoire d'attelage de la locomotive ont donné une valeur moyenne de 59,6 HRA, ce qui équivaut à une dureté de 222 HBW et est conforme à la plage spécifiée de l'AAR¹ de 211 à 311 HBW pour cette classe de mâchoire.
- 2.2.6 Une analyse sans étalon par spectroscopie à dispersion d'énergie du matériau de la mâchoire d'attelage de la locomotive a produit des teneurs en manganèse, en chrome et en silicium conformes à la spécification de l'AAR. Les concentrations de carbone, de soufre et de phosphore n'ont pas été déterminées.
- 2.3 Mâchoire d'attelage du wagon couvert
- 2.3.1 On a nettoyé les surfaces de rupture de la mâchoire d'attelage du wagon couvert avant d'en faire l'examen. Une petite zone adjacente au rayon intérieur de cette mâchoire présentait un aspect granulaire poreux compatible avec un défaut de moulage (figure 12). Ce défaut de moulage présentait une petite fissure de fatigue. Le reste de la surface de rupture affichait de par sa nature un état de surcharge (figure 13). L'orientation des lèvres de cisaillement sur les côtés intérieur et extérieur de la surface de rupture indique que la mâchoire a lâché à la suite d'une charge de torsion (voir les flèches rouges dans la figure 13). La mâchoire portait une marque d'impact sur sa partie qui s'emboîte avec la mâchoire opposée (figure 14). Cette marque d'impact était décalée vers le haut. La direction de la charge de torsion indiquée par les lèvres de cisaillement et l'emplacement de la

¹ AAR Manual of Standards and Recommended Practices Couplers and Freight Car Draft Components, Castings, Steel, Specification M-201, page B-9.

- marque d'impact témoignent du fait que le wagon couvert penchait du côté gauche au moment de son déraillement et qu'il s'est finalement immobilisé sur son flanc gauche.
- 2.3.2 On a prélevé une coupe métallurgique à côté de la zone de fatigue. Une attaque chimique dans une solution à 2 % de nital a révélé une microstructure de martensite trempée et revenue (figure 15).
- 2.3.3 Des essais de dureté Rockwell A effectués sur le matériau de la mâchoire d'attelage du wagon couvert ont donné une valeur moyenne de 64,8 HRA, ce qui équivaut à une dureté de 279 HBW et est conforme à la plage spécifiée de l'AAR² de 211 à 311 HBW pour cette classe de mâchoire.
- 2.3.4 L'analyse sans étalon par spectroscopie à dispersion d'énergie du matériau de la mâchoire d'attelage du wagon couvert a donné des teneurs en manganèse, en chrome et en silicium compatibles avec la spécification de l'AAR. Les concentrations de carbone, de soufre et de phosphore n'ont pas été déterminées.

3.0 DISCUSSION

- 3.1 L'examen de la mâchoire d'attelage de la locomotive et de son pivot indique que les deux ont lâché en mode de surcharge. On estime très probable que, en raison de leur petite taille, les fissures de fatigue dans le rayon intérieur de la mâchoire n'auraient pas sensiblement réduit la capacité portante de celle-ci et ont simplement servi à situer la rupture. La partie de la mâchoire qui s'est séparée de l'attelage de la locomotive a été retrouvée près de l'endroit où les locomotives se sont immobilisées, à quelque 4 435 pieds du principal site de déraillement.
- 3.2 L'orientation des lèvres de cisaillement et l'emplacement de la marque d'impact sur la mâchoire d'attelage du wagon couvert indiquent que cette défaillance s'est produite sous une charge de torsion quand le wagon couvert a déraillé et s'est couché sur son flanc gauche. On estime très probable que, en raison de leur petite taille, le défaut de moulage et la fissure de fatigue antérieure à l'accident observés dans la mâchoire n'auraient pas sensiblement réduit la capacité portante de celle-ci et ont simplement servi à situer la rupture.

4.0 CONCLUSION

- 4.1 La mâchoire d'attelage de la locomotive a lâché dans un mode de surcharge de traction amorcée au niveau d'une fissure de fatigue antérieure à l'accident sur le rayon intérieur de la mâchoire. Cette fissure de fatigue a simplement agi comme lieu de défaillance de la mâchoire.
- 4.2 La fissure de fatigue observée sur la mâchoire d'attelage de la locomotive existait très probablement depuis un certain temps et pourrait avoir pour origine les dommages mécaniques constatés sur le rayon intérieur de la mâchoire. Un meulage est très probablement à l'origine de ces dommages mécaniques.

² Ibid, Specification M-201, page B-9.

- 4.3 Le matériau de la mâchoire d'attelage de la locomotive satisfaisait aux exigences pertinentes de l'AAR.
- 4.4 Le pivot de la mâchoire d'attelage de la locomotive a lâché dans un mode de surcharge en flexion qui a commencé au niveau d'une fissure de fatigue antérieure à l'accident. Cette fissure de fatigue a simplement agi comme lieu de la défaillance et, d'après son aspect, semblait exister depuis quelque temps.
- 4.5 La mâchoire d'attelage du wagon a lâché à la suite d'une surcharge en torsion. Un petit défaut de moulage antérieur à l'accident et une fissure de fatigue ont probablement agi comme point d'amorce de la défaillance.
- 4.6 Le matériau de la mâchoire d'attelage du wagon couvert satisfaisait aux exigences pertinentes de l'AAR.



Figure 1: Photographie de la mâchoire rompue provenant de l'extrémité arrière de la locomotive MMA 5026 - remarquez les parties manquantes de la mâchoire et de son pivot (flèche rouge).



Figure 2: Photographie de la mâchoire d'attelage rompue à l'extrémité avant du wagon couvert (CIBX 172032)



Figure 3: Mâchoire d'attelage de la locomotive et son pivot à leur réception



Figure 4: Mâchoire d'attelage du wagon couvert à sa réception



Figure 5: Surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges pointent vers les fissures de fatigue antérieures à l'accident sur le rayon intérieur.



Figure 6: Surface de rupture du pivot de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges pointent vers la fissure de fatigue antérieure à l'accident.



Figure 7: Zone sur la surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive, avec les fissures de fatigue antérieures à l'accident (flèches rouges)



Figure 8: Surface de rupture de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges montrent la direction de la défaillance par surcharge de traction.



Figure 9: Rayon intérieur de la mâchoire d'attelage de la locomotive - les flèches rouges pointent vers les dommages mécaniques causés très probablement par une meuleuse. Remarquez la fissure qui s'est ouverte au cours de la rupture de la mâchoire (flèche bleue).

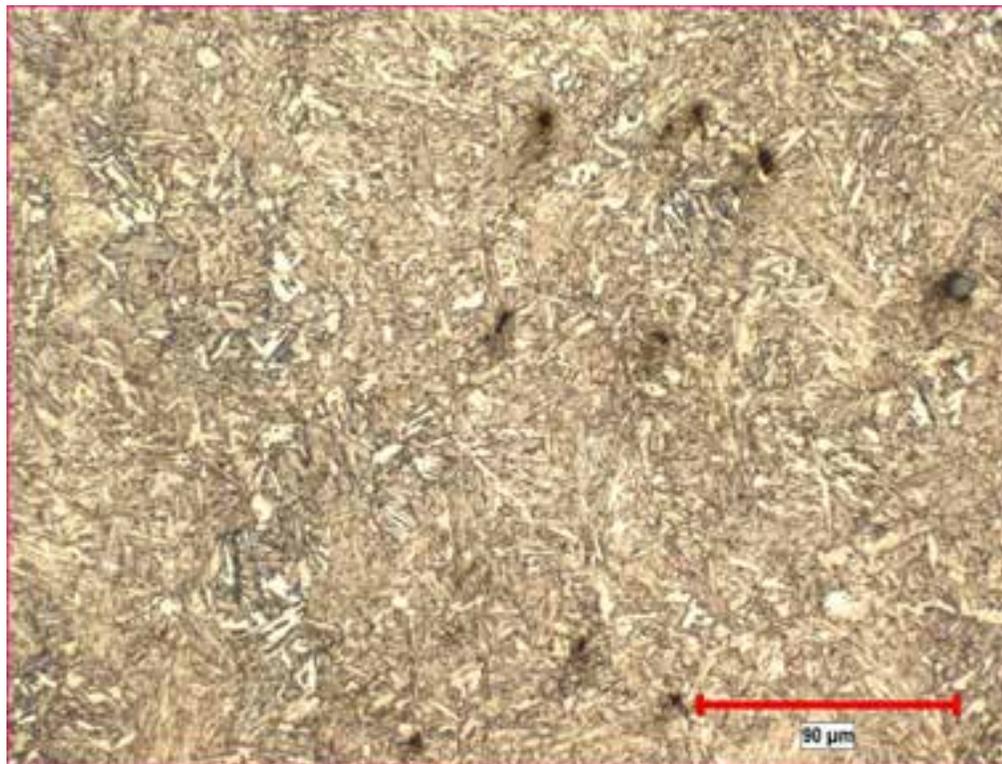


Figure 10: Micrographie de la microstructure de martensite trempée et revenue de la mâchoire d'attelage de la locomotive

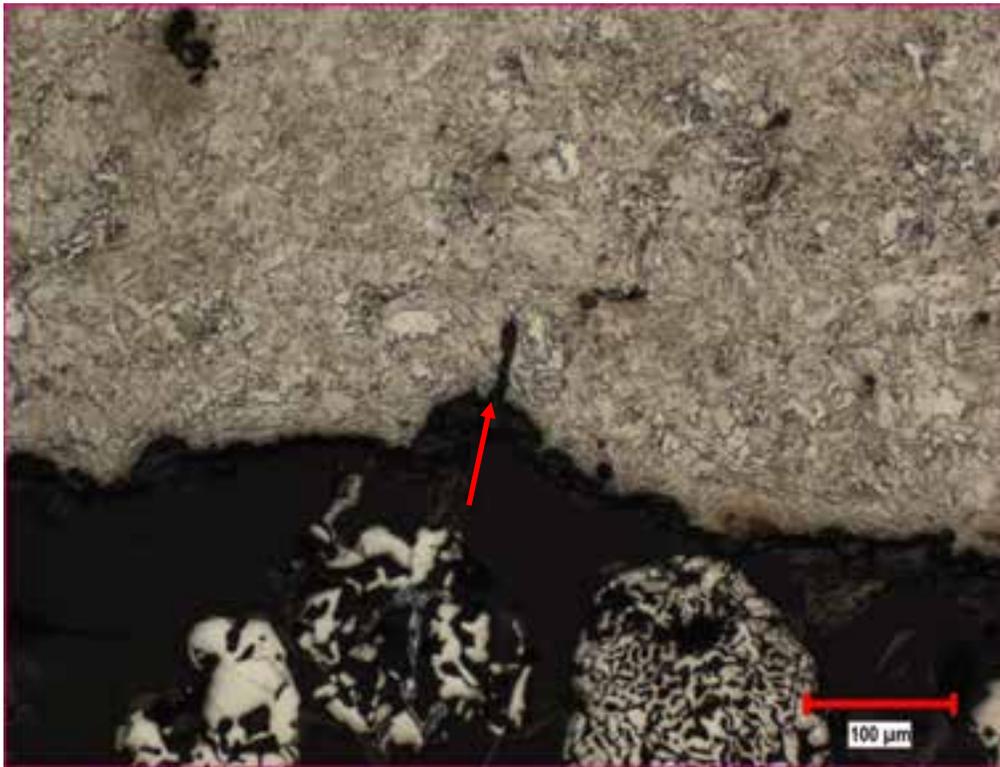


Figure 11: Micrographie d'une fissure (flèche rouge) sur le rayon intérieur de la mâchoire d'attelage de la locomotive, à côté de la fissure de fatigue



Figure 12: Défaut de moulage et fissure de fatigue sur la surface de rupture de la mâchoire d'attelage du wagon couvert (flèche rouge)



Figure 13: Les flèches rouges indiquent la direction de la défaillance par surcharge en torsion sur la surface de rupture de la mâchoire d'attelage du wagon couvert.



Figure 14: Les flèches rouges pointent vers la marque d'impact sur la mâchoire d'attelage du wagon couvert.

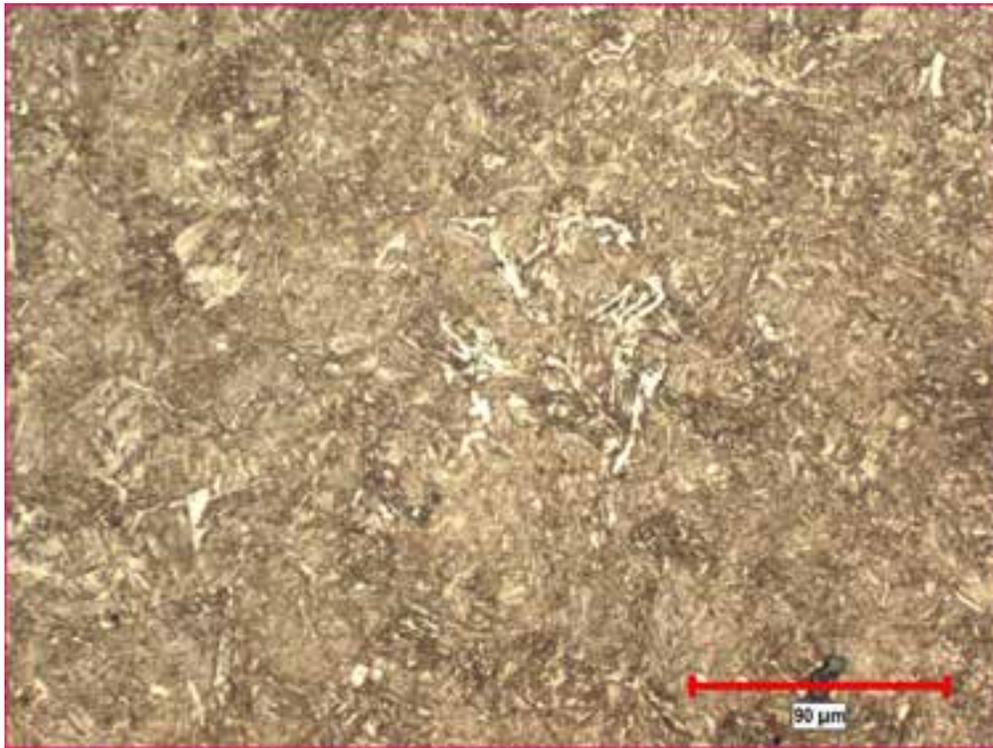


Figure 15: Micrographie de la microstructure de martensite trempée et revenue de la mâchoire d'attelage du wagon couvert