

RAPPORT D'ENQUÊTE

VERSION DÉPERSONNALISÉE

**Accident mortel survenu à un travailleur
de Transport S. Hallé et Filles inc.
le 12 septembre 2018
au 52, avenue William-Dobell, porte n° 6
à Baie-Comeau.**

**Direction régionale
de la Côte-Nord**

Inspecteurs :

_____ **Dominic Gauthier**

_____ **Robin Michaud**

Date du rapport : 15 avril 2019

Rapport distribué à :

- Monsieur [A], Transport S. Hallé et Filles inc.
- Monsieur Arnaud Samson, coroner
- Monsieur Stéphane Trépanier, directeur de santé publique, CISSS Côte-Nord

TABLE DES MATIÈRES

1	RÉSUMÉ DU RAPPORT	1
2	ORGANISATION DU TRAVAIL	3
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	3
3	DESCRIPTION DU TRAVAIL	4
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	4
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	7
4	ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE	8
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	8
4.2	INFORMATIONS RECUEILLIES	8
4.2.1	ÉVÈNEMENTS DU 11 SEPTEMBRE 2018	8
4.2.2	JANTE ALCOA 385/65R 22.5	10
4.2.2.1	Information générale	10
4.2.2.2	Jante neuve	10
4.2.2.3	Jante accidentée	11
4.2.2.4	Informations du manuel du fabricant Alcoa	14
4.2.2.5	Rapport d'expertise de l'École polytechnique de Montréal concernant la jante Alcoa portant le numéro de pièce 823651	14
4.2.3	PNEU POIDS LOURD MICHELIN XZY 3 DE DIMENSION 385/65 R 22.5	16
4.2.3.1	Informations générales	16
4.2.3.2	Pneu présent au moment de l'incendie le 11 septembre 2018	16
4.2.3.3	Pneu présent au moment de l'accident du 12 septembre	17
4.2.3.4	Informations du fabricant Michelin	17
4.2.4	TÂCHES ET ÉQUIPEMENTS	18
4.2.5	TRAVAILLEUR	19
4.2.6	ORGANISATION	20
4.2.7	EXIGENCES LÉGALES	20
4.2.8	EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	21
4.2.9	LITTÉRATURE	21
4.2.9.1	Règlement OSHA sec. 1910.177 : Entretien des roues monopièces et multipièces (Chapitre 7-1)	21
4.2.9.2	Entretien des pneus de véhicules de grandes dimensions (ISBN 978-2-550-66943-2): Work Safe BC (traduction CSST juin 2013)	23

4.2.9.3	L'éclatement et l'explosion des pneus de véhicules lourds : IRSST / Via Prévention (2009)	24
4.2.9.4	Étude et caractérisation des phénomènes d'éclatement et d'explosion des pneus de camion : Lionel Michel, 2010	24
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	25
4.3.1	LA SURCHAUFFE DU TAMBOUR DE FREIN ET L'INCENDIE DU PNEU ENTRAINENT LA DÉFORMATION DE LA JANTE D'ALUMINIUM.	25
4.3.2	L'UTILISATION D'UNE JANTE DÉFORMÉE ET L'ABSENCE D'UN DISPOSITIF DE RETENUE EMPÊCHANT LA PROJECTION DE LA ROUE LORS DU DÉJANTAGE MÉCANIQUE MÈNENT AUX CONDITIONS PERMETTANT L'ACCIDENT.	26
4.3.3	L'ABSENCE DE RÈGLES DE SÉCURITÉ ET DE FORMATION EN MATIÈRE D'INSTALLATION ET DE GONFLAGE DE PNEUS EXPOSE LE TRAVAILLEUR AU DANGER D'ÊTRE PERCUTÉ PAR UNE PIÈCE PROJÉTÉE.	27
5	CONCLUSION	30
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	30
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	30
5.3	SUIVI À L'ENQUÊTE	30
 <u>ANNEXES</u>		
ANNEXE A :	Accidenté	32
ANNEXE B :	Photos	33
ANNEXE C :	Liste des personnes et témoins rencontrés	35
ANNEXE D :	Rapport d'expertise	36
ANNEXE E :	Références bibliographiques	81

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 12 septembre 2018 vers 15 h 15, le chauffeur de camion s'affaire au gonflage d'un pneu de camion semi-remorque afin de remplacer celui qui a pris feu la veille à la suite d'une défaillance du système de freinage.

Lors de l'opération, un éclatement par déjantage¹ mécanique se produit. Le chauffeur de camion est dans la zone de projection de la roue et est frappé par celle-ci.

Conséquence

Le travailleur est transporté à l'Hôpital Le Royer de Baie-Comeau où son décès est constaté.



Source : CNESST

Photo n° 1 : Vue du positionnement de la roue et du travailleur lors du gonflage (Simulation)

¹ Déjantage : Action de déjanter, c'est-à-dire : faire sortir un pneumatique de la jante d'une roue (Source : Dictionnaire Larousse)

Abrégé des causes

La surchauffe du tambour de frein et l'incendie du pneu entraînent la déformation de la jante d'aluminium.

L'utilisation d'une jante déformée et l'absence d'un dispositif de retenue empêchant la projection de la roue lors du déjantage mécanique mènent aux conditions permettant l'accident.

L'absence de règles de sécurité et de formation en matière d'installation et de gonflage de pneus expose le travailleur au danger d'être percuté par une pièce projetée.

Mesures correctives

Lors de l'intervention du 12 septembre 2018, une décision est émise et est contenue dans le rapport RAP1236447. Cette décision ordonne l'arrêt du gonflage de pneu de véhicules d'au moins 4 500 kg incluant sa charge nominale dans l'entreprise, car l'employeur n'utilise aucun dispositif de retenue qui empêche la projection de composantes de la roue, tels une cage, un support, une chaîne, un assemblage de barres ou à défaut, toute autre mesure qui assure la sécurité des travailleurs.

Des mesures correctives sont demandées dans le rapport RAP1236433 émis le 14 septembre 2018 concernant la sécurité des machines dans l'atelier de mécanique.

Une mesure corrective a été demandée dans le rapport d'intervention RAP1238298, émis le 2 octobre 2018. Celle-ci exige que l'employeur rédige une procédure relative au gonflage des pneus d'un véhicule de 4 500 kg, incluant sa charge nominale, et à l'utilisation sécuritaire de la cage de retenue.

La décision émise dans le rapport RAP1236447 a fait l'objet d'un suivi et a été levée dans le rapport RAP1238298.

Les dérogations émises dans le rapport RAP1236433 ont fait l'objet d'un suivi et sont finalisées dans le rapport RAP1238298.

La dérogation émise dans le rapport RAP1238298 a fait l'objet d'un suivi et est finalisée dans le rapport RAP1242872.

Le présent résumé n'a pas de valeur légale et ne tient lieu ni de rapport d'enquête ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il constitue un aide-mémoire identifiant les éléments d'une situation dangereuse et les mesures correctives à apporter pour éviter la répétition de l'accident. Il peut également servir d'outil de diffusion dans votre milieu de travail.

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale de l'établissement

Fondé en 2006, Transport S. Hallé et Filles inc. se spécialise dans le transport de bois en billes par camion semi-remorque. L'entreprise emploie [...] camionneurs non syndiqués et loue un local situé au 52, avenue William-Dobell, porte n° 6, à Baie-Comeau, lui servant d'atelier de mécanique.

Transport S. Hallé et Filles inc. fait affaire principalement avec Produits forestiers Résolu (PFR) et Ushkuai. Plus précisément, l'entreprise achemine le bois en billes de la forêt jusqu'à l'usine de sciage. Pour ce faire, elle opère trois camions semi-remorques qu'elle possède.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Aucun mécanisme de participation formel n'est appliqué dans l'entreprise.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Transport S. Hallé et Filles inc. fait partie du secteur d'activité 015 - Transport et entreposage, et est tenue par règlement d'appliquer un programme de prévention, incluant un programme de santé, dans le cadre de ses opérations de transport. Par ses obligations contractuelles, l'entreprise doit respecter et mettre en pratique le programme de prévention respectif de chacun de ses clients, soit Ushkuai et PFR, pendant les opérations de transport. Les travailleurs doivent, entre autres, porter des équipements de protection individuelle et respecter les méthodes sécuritaires de travail et autres consignes de sécurité.

En ce qui concerne les activités d'entretien effectuées à l'atelier de mécanique, aucun programme de prévention ni programme de santé n'est mis en application par l'employeur. [...] personnes ont reçu la formation de secourisme en milieu de travail.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Les chemins forestiers et publics constituent les principaux lieux de travail des camionneurs à l'emploi de Transport S. Hallé et Filles inc. Le bois est acheminé à partir des chantiers forestiers jusqu'à l'usine de sciage de Pointe-aux-Outardes. La plupart de ceux-ci se retrouvent au nord de Baie-Comeau.

Les camionneurs sont également appelés à travailler sporadiquement dans un lieu de travail secondaire de l'employeur qui sert d'atelier de mécanique. Ceux-ci doivent s'y rendre pour entretenir ou réparer eux-mêmes les camions semi-remorques. Localisé au 52, avenue William-Dobell, porte n°6, à Baie-Comeau, l'atelier est muni d'une porte à ouverture verticale. L'espace est suffisamment grand pour accueillir un camion (tracteur). On y retrouve les équipements et outils de base pour effectuer l'entretien dont les changements de pneus des camions semi-remorques. Les réparations complexes sont effectuées par des entreprises spécialisées dans la mécanique de véhicules lourds.



Photo 2 – Lieu de l'accident (plan général)



Photo 3 - Lieu de l'accident



Photo 4 - Lieu de l'accident
(atelier de mécanique, 52 avenue William-Dobell)

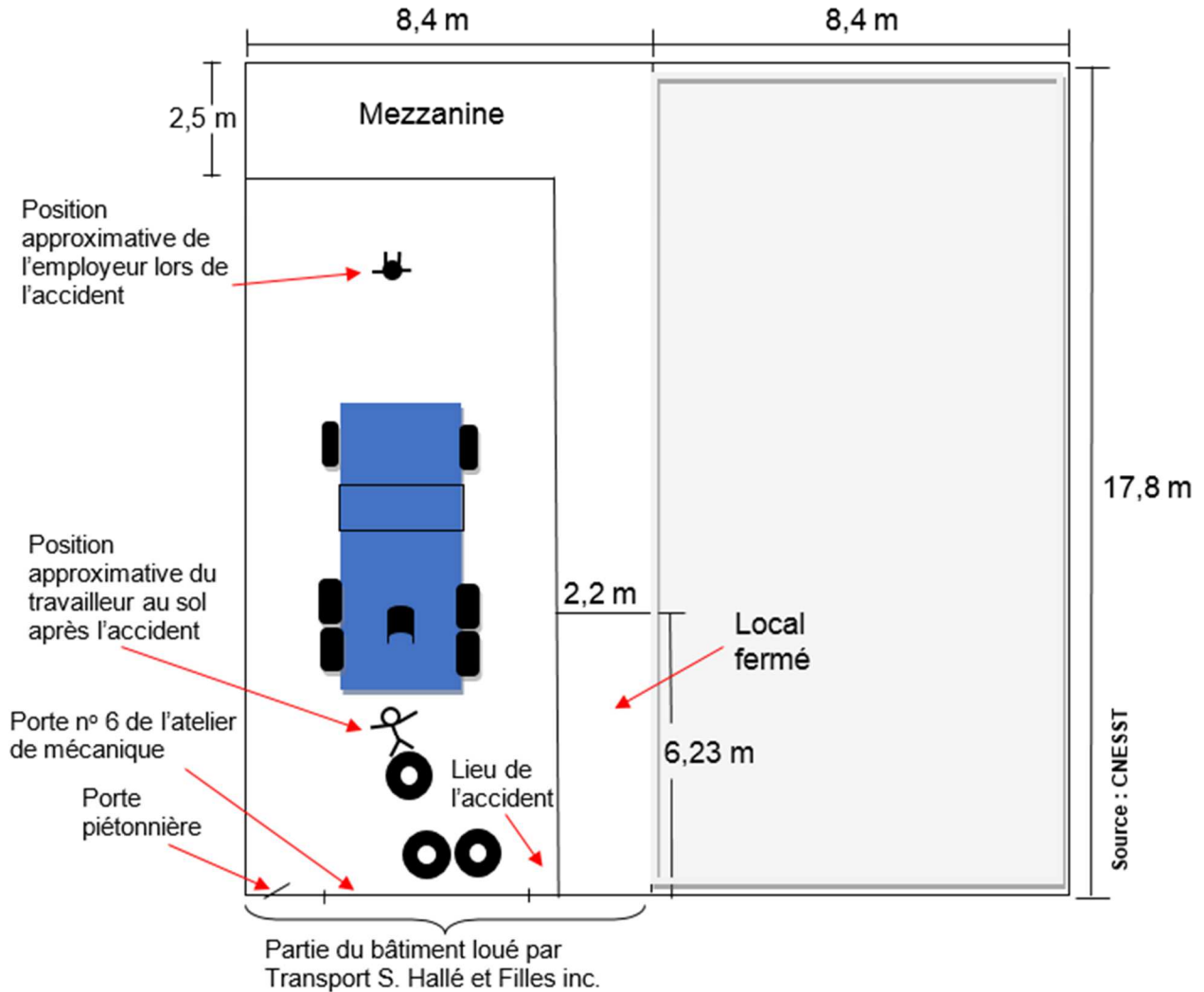
Position
approximative
du travailleur
face contre
terre à la suite
de l'accident



Source : CNESST

Photo 5 - Vue générale de l'intérieur de l'atelier de mécanique - reconstitution de la scène

Schéma du bâtiment locatif



Source : CNESST

3.2 Description du travail à effectuer

Le travail consiste à effectuer des réparations sur l'essieu relevable de la semi-remorque portant le numéro de série 2M5241461B1125628. Celui-ci a été endommagé le jour précédent l'évènement. Parmi ces réparations, le pneu gauche de l'essieu relevable devait être remplacé. Cette tâche comportait les étapes suivantes :

- Enlever le pneu et les résidus de pneu sur la jante;
- Enlever la jante fixée à l'essieu;
- Nettoyer et entretenir la jante;
- Appliquer du lubrifiant sur le nouveau pneu;
- Monter le nouveau pneu sur la jante accidentée;
- Gonfler le pneu à 689,5 kPa (100 psi) afin de faire coller le talon du pneu sur l'appui talon de la jante;
- Faire redescendre la pression du pneu à la pression de service qui est de 413,7 kPa (60 psi).

L'accident s'est produit lors de la phase de gonflage du pneu.

SECTION 4

4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 11 septembre 2018, un camion semi-remorque de Transport S. Hallé et Filles inc. chargé de bois en billes se déplace de son lieu de chargement en forêt en direction de la Scierie des Outardes. En chemin, une défaillance du système de freinage suivi d'un incendie se produit sur la roue de l'essieu relevable du côté gauche de la semi-remorque. Monsieur [B], chauffeur du camion, éteint le début d'incendie avec un extincteur et apporte le véhicule à la scierie. Une fois le camion semi-remorque vidé de son contenu, le véhicule est apporté à l'atelier de mécanique de l'entreprise Transport S. Hallé et Filles inc. pour effectuer la réparation le lendemain (Photo 4).

Le 12 septembre vers 7 h 20, M. [B] (travailleur) communique avec monsieur [A], afin de l'informer de l'évènement de la veille.

Vers 8 h 15, monsieur [A] arrive à l'atelier. Le travailleur est présent et se renseigne à propos des travaux à effectuer sur l'essieu relevable. Ayant reçu l'information, le travailleur procède à diverses tâches dont : l'enlèvement de la jante unique, le remplacement des freins, des roulements à billes et à l'enlèvement des débris. Ce travail l'occupe durant tout l'avant-midi.

Vers 13 h 30, au retour de diner, [A] aperçoit le travailleur à l'entrée de l'atelier affairé au nettoyage de la jante accidentée. Un peu plus tard, ce dernier prend un pneu à l'avant de l'atelier et le transporte à proximité de la porte où il effectue son montage sur la jante. L'opération se termine vers 15 h.

Peu de temps après, [A], qui œuvre à l'avant de l'atelier devant un camion, voit la roue en réparation accotée sur deux autres roues appuyées au mur intérieur (Schéma, page 6). Il observe le travailleur installer le mandrin à mâchoire sur la valve afin de gonfler le pneu (Photo 1). Le propriétaire continue sa tâche sans regarder l'opération de gonflage.

Par la suite, [A] entend un bruit fort provenant de l'entrée de l'atelier. Il s'y dirige et aperçoit le travailleur derrière le camion, couché face au sol (Photo 5). Les roues sont déplacées et celle en cours de gonflage repose sur les jambes du travailleur (Photo 5).

[A] appelle le service ambulancier à 15 h 17. Le travailleur subit une blessure à la tête et est transporté à l'Hôpital Le Royer de Baie-Comeau où son décès est constaté.

4.2 Informations recueillies

4.2.1 Évènements du 11 septembre 2018

- La route 389 comporte plusieurs courbes et côtes qui demandent l'utilisation du système de freinage;

- La semi-remorque possède quatre essieux, dont un essieu relevable (Photos 6, 7 et 8);
- L'essieu relevable est positionné pratiquement au centre de la semi-remorque;
- L'essieu relevable est abaissé;
- Il y a une défaillance de la valve relais du système de freinage pneumatique;
- La défaillance de la valve relais empêche la relâche complète (relâche lente) du frein;
- La pression constante des freins provoque une surchauffe du tambour de frein du côté gauche de l'essieu relevable;
- La jante subit une surchauffe au point où le pneu s'enflamme;
- La jante est réutilisée à la suite de l'incident de la veille.



Source : CNESST

Photos 6 et 7 - Arrière de la semi-remorque

Essieu relevable
du côté gauche



Indice de surchauffe
sur le tambour de
roue

Source : CNESST

Photo 8 - Essieu relevable côté gauche

4.2.2 Jante Alcoa 385/65R 22.5

4.2.2.1 Information générale

- Numéro de pièce : 823651;
- La jante est de type monopièce;
- Forcée aux États-Unis par l'entreprise Alcoa;
- Fabriquée à partir d'aluminium;
- Dimension d'origine : 22.5 X 12.25;
- La masse de la jante d'origine est de 30 kg;
- Plusieurs pneus sont recommandés par Alcoa, dont la dimension 385/65R 22.5;
- La pression maximale de gonflage à froid est de 896,32 kPa (130 psi).

4.2.2.2 Jante neuve

- Les côtés intérieur et extérieur sont de même dimension.

Photo 9



Source : Internet

Le diamètre et la forme sont similaires de chaque côté

Photo 10



Source : CNESST

Jante de l'essieu relevable du côté droit de la semi-remorque, en bonne condition

4.2.2.3 Jante accidentée

- Date de fabrication : 2008-02-26;
- La jante est utilisée sur la semi-remorque 2M5241461B1125628 depuis le printemps 2018;
- La jante porte des signes de coloration (noircissement) résultant de l'incendie qu'elle a subi;
- La masse est de 29 kg (masse mesurée avec un pèse-personne de marque Pelouze portant le numéro de série 1300000033);
- La circonférence mesurée du côté intérieur, tel que montré dans la section vérification des dimensions « Manuel de l'entretien de roue Alcoa » est de 1,77 m;
- La circonférence du côté extérieur est de 1,83 m;
- La largeur maximale mesurée est de 352 mm;
- La largeur minimale mesurée est de 344 mm;
- L'écart de mesure de la largeur démontre que la roue est voilée (battement axial) (Photos 13 à 16);
- Le diamètre mesuré sur le côté extérieur est de 593 mm;
- Le diamètre le plus grand mesuré sur le côté intérieur est de 589 mm;
- Le diamètre le plus petit mesuré sur le côté intérieur est de 573 mm;
- L'écart de mesure du diamètre intérieur démontre que la jante est ovale (battement radial) sur ce côté (Photo 17);
- La hauteur du rebord de la jante du côté intérieur, vérifiée à l'aide de la jauge d'usure, démontre que 42 % de sa circonférence se trouve en dehors de la tolérance spécifiée par le fabricant (Photos 11 et 12);
- La valve est endommagée;
- La partie filetée de la valve est manquante (Photos 23 et 24, Annexe B);
- La valve en bon état sur la jante de la roue du côté droit de l'essieu relevable est positionnée à 12 mm à l'intérieur de la jante (Photos 25, Annexe B);
- Le manuel du fabricant est indisponible sur le lieu de travail.



Photo 11 - Côté extérieur
de la jante conforme

Source : CNESST

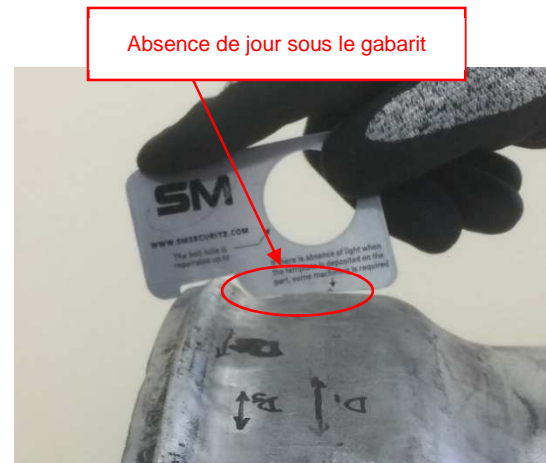


Photo 12 - Côté intérieur
de la jante non conforme

Source : CNESST

Jante accidentée



Équerre

L'équerre démontre un espace supérieur à 0,762 mm (tolérance du fabricant) entre les rebords de jante intérieur et extérieur. Le rebord de jante intérieur est en dehors des spécifications du fabricant.

Source : CNESST

Photo 13 - Test de l'équerre selon le manuel Alcoa



352 mm

Source : CNESST

Photo 14



Mesure de la largeur de la jante qui permet de démontrer une déformation de 8 mm du côté intérieur (battement axial)

Extérieur

Intérieur

Photo 15



344 mm

Source : CNESST

Photo 16

Le rapport d'expertise mentionne que le côté extérieur n'a pratiquement aucun battement axial (déformation de sa face verticale) alors que le côté intérieur a subi l'ensemble de la déformation (jante voilée).

Aplatissement de la jante dans la zone près de la valve du côté intérieur

Photo 17



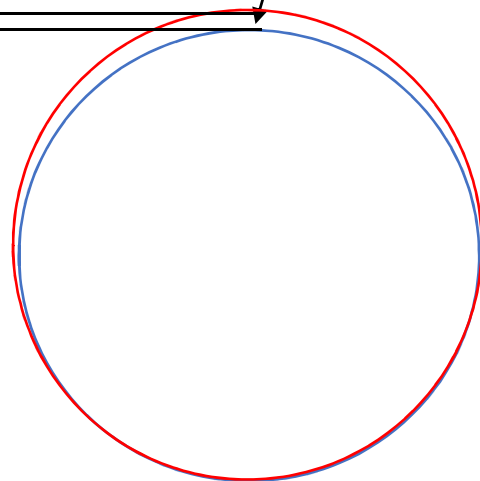
Source : CNESST

Le battement radial (différence maximale entre le plus petit et le plus grand diamètre) du côté intérieur de la jante (ligne bleue) est de 13,9 mm (Source : Rapport d'expertise)

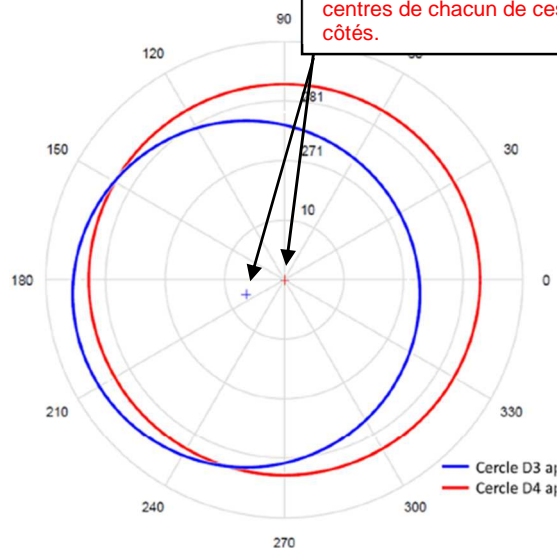
Cette photo tirée du rapport d'expertise montre l'ovalisation du côté intérieur (bleu) de la jante en rapport au côté extérieur (rouge) qui est circulaire

La ligne rouge représente le côté extérieur de la jante et la ligne bleue représente le côté intérieur déformé. Les deux croix montrent les différents centres de chacun de ces côtés.

Le cercle en bleu démontre la déformation (écrasement) du côté intérieur de la jante en comparaison à son côté extérieur en rouge qui est un cercle presque parfait (battement radial à l'intérieur de la tolérance du fabricant).



Source : CNESST



Source : Rapport d'expertise

Figure 1 - Circonférence du rebord du côté intérieur et extérieur de la jante

Figure 2 - Excentricité de la jante

4.2.2.4 Informations du manuel du fabricant Alcoa

- Tous les ateliers de pneus doivent connaître et observer les règlements de l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [...] quelle que soit l'importance de l'atelier;
- Le manuel inclut la section 177 de la norme 1910 du Règlement OSHA 29 Code Federal Regulation (CFR) « Entretien des roues monopieces et multipieces »;
- Détenir la formation appropriée avant de procéder à l'entretien d'un assemblage de roue;
- Lors du remplacement d'un pneu, vérifier toutes les parties de la roue (jante²);
- Porter une attention particulière au contour et aux surfaces de la jante;
- Une chaleur excessive causée par un incendie, un mauvais fonctionnement des freins, une défaillance des roulements de jante ou toute autre source de chaleur excessive peut affaiblir le métal et provoquer le déjantage du pneu par explosion³;
- Retirez immédiatement de la circulation, et ce, de façon permanente, toute jante ayant été exposée à une chaleur excessive;
- La structure d'une roue en aluminium peut être grandement affaiblie par une chaleur excessive incontrôlée;
- Les jantes qui ont été exposées à une chaleur excessive ou qui ont été endommagées de quelque façon que ce soit, peuvent ne plus avoir la dimension et le contour requis pour retenir le talon du pneu lorsque sous pression;
- Les jantes dont la dimension et le contour ne sont pas adéquats peuvent provoquer un déjantage du pneu par explosion;
- La circonférence du repos de talon du côté de l'ouverture de la jante devrait être vérifiée chaque fois qu'un pneu est remplacé;
- Lorsqu'il n'y a pas de ruban de disponible, faire rouler la jante sur plusieurs tours sur une surface plane, à niveau et propre afin de vérifier s'il y a une déviation;
- Toute déviation démontre qu'il peut exister un problème de dimension ou de contour;
- Selon la méthode de vérification des dimensions à l'équerre, lorsque la distance entre l'équerre et le talon de la roue excède 0,762 mm (épaisseur d'une carte de crédit), la roue devrait être retirée de la circulation et détruite;
- Retirez définitivement de la circulation toute jante dont la hauteur du rebord de jante est insuffisante;
- Immobilisez toujours l'ensemble pneu/jante à l'intérieur d'une cage de gonflage lorsque vous gonflez le pneu.

4.2.2.5 Rapport d'expertise de l'École polytechnique de Montréal concernant la jante Alcoa portant le numéro de pièce 823651

- Dans le cas d'un freinage soutenu sur une longue distance, la friction des plaquettes de frein sur le tambour de frein produit une chaleur intense qui se propage à la jante et

² Dans le manuel du fabricant, le terme *roue* fait référence à jante.

³ Dans le manuel du fabricant, le terme *explosion* fait référence à éclatement.

au pneu par conduction et par convection. Plusieurs réactions chimiques se produisent dans le caoutchouc du pneu. La dynamique et la cascade de ces réactions dépendent de l'intensité de la chaleur et de la température atteinte. Les réactions chimiques de pyrolyse se situent entre 180°C et 310°C, alors que la combustion se déroule en quatre étapes entre 200°C et 400°C. Il n'est cependant pas exclu qu'un début de pyrolyse se soit produit avant l'inflammation;

- L'ensemble roue, constitué de la jante et du pneu, a subi un blocage partiel de freins, ce qui a augmenté la température à un point tel que le pneu a pris feu. Le moyeu avec les freins partiellement bloqués a pu apporter suffisamment de chaleur pour provoquer l'allumage du pneu. Comme mentionné plus haut, la température d'inflammation du caoutchouc étant de 340°C on estime que la jante a été exposée à des températures mêmes supérieures à ces valeurs. Ces températures sont aussi supérieures au traitement thermique permettant d'acquérir la dureté et la résistance requise pour la jante, comme spécifié dans la section 4.1;
- Par conséquent, le matériau de la jante a subi une baisse importante de ses propriétés mécaniques, soit sa dureté et sa résistance aux déformations. Sous la charge de la remorque et à cause des chocs enregistrés lors du déplacement du camion, la jante s'est déformée d'une manière très importante du côté où sa rigidité est la plus faible, soit son côté intérieur (Michel 2010). Ceci est confirmé par l'analyse des résultats de métrologie présentée en 4.2;
- Après la mise en place du pneu sur la jante, le travailleur a procédé au gonflage du pneu. Le pneu cependant se trouvait forcément dans une configuration étirée selon les dimensions en dehors des tolérances de circularité et d'excentricité. Celle-ci engendre des pressions locales de contact entre le talon et les épaulements de montage de la jante non uniformes. Le glissement en place (diamètre d'accueil D3 et D4 – voir les sections 3.2.3 et 4.2) du talon du pneu par l'application d'une pression de gonflage est ainsi rendue difficile, voire impossible à cause d'un frottement augmenté dans certaines zones;
- La jante est forgée en aluminium 6061-T6 (traitement thermique T6);
- Le traitement thermique se fait à une température approximative de 177°C;
- La dureté Brinell⁴ minimum acceptée pour ce type d'alliage d'aluminium est de 80 HB;
- La mesure de dureté typique est de 95 HB pour ce type d'alliage;
- La littérature impose de ne pas exploiter cet aluminium à des températures au-dessus de 170°C;
- Au-delà de 170°C, il y a un danger majeur d'une baisse importante de la limite d'élasticité de l'aluminium;
- Les résultats de mesure montrent que la jante sous l'action de la chaleur a subi une baisse de dureté atteignant des valeurs aussi basses que 62 HB sur son côté intérieur;
- Le côté intérieur de la jante a un battement radial (déformation du rayon) de 13,9 mm (Photo 17 - Figures 1 et 2);

⁴ Dureté Brinell : Essai de pénétration de la bille d'acier pratiqué sur une pièce dont on veut connaître le degré de dureté. L'essai consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille en acier de diamètre D sous une charge P et à mesurer le diamètre de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge. De ce diamètre on déduit la dureté Brinell exprimée en HB (Hardness Brinell). (Source : Grand dictionnaire terminologique)

- Le battement axial (déformation de la face verticale) mesuré à l'extérieur du rebord du côté intérieur de la jante est de 8,5 mm (Photos 13 à 16);
- En se plaçant convenablement, il est possible d'observer une macro-déformation de la jante dans la zone autour de 0° (zone définie par la valve à air);
- L'examen de l'état extérieur et l'analyse des résultats de métrologie nous permettent d'affirmer que la jante n'était pas en état approprié de remise en service et qu'elle avait subi des déformations importantes;
- L'analyse des mesures de dureté nous permet de conclure que la perte d'intégrité des propriétés physiques du matériau de la jante ainsi que de ses propriétés mécaniques est très importante et prépondérante dans les causes de l'accident;
- L'analyse des mesures de dureté corrélée aux données scientifiques sur l'effet de l'exposition à des températures élevées du matériau de la jante confirme que c'est la chaleur excessive qui a altéré ses propriétés mécaniques;
- La roue installée sur la remorque a subi des charges dynamiques qui ont dépassé les limites de sa résistance élastique altérée par la chaleur;
- Ces sollicitations ont entraîné de nombreuses déformations de la jante et la perte de son intégrité géométrique;
- Nous concluons que le montage adéquat d'un pneu compatible, comme dans le cas présent, avec les dimensions nominales de cette jante, n'était plus possible;
- Les déformations plastiques de la jante imposent au pneu, lors du montage, une position induisant des étirements locaux et globaux qui augmentent le frottement pendant le glissement en place de l'assise du talon du pneu, et ce dès les premiers instants de son installation;
- Par conséquent, sous forte pression, la séparation entre le pneu et la jante se produit, l'air s'échappe violemment et propulse l'ensemble avec une grande énergie.

4.2.3 Pneu poids lourd Michelin XZY 3 de dimension 385/65 R 22.5

4.2.3.1 Informations générales

- Le manuel du fabricant est indisponible sur le lieu de travail;
- Sa masse est de 86,78 kg (masse mesurée avec un pèse-personne de marque Pelouze portant le numéro de série 1300000033);
- La pression maximale indiquée sur le flanc du pneu est de 130 psi;
- Le pneu a été rechapé⁵;
- Le pneu est monté sur une jante pour la première fois depuis le rechapage.

4.2.3.2 Pneu présent au moment de l'incendie le 11 septembre 2018

- La température d'inflammation⁶ d'un pneu est de 340°C;

⁵ Doter un pneu usagé d'une nouvelle bande de roulement. (Source : Dictionnaire Larousse)

⁶ Processus consistant à porter une substance à son point d'inflammation, soit la température minimale à laquelle une substance continue à brûler sans l'application d'une source extérieure de chaleur supplémentaire. (Le grand dictionnaire terminologique)

- Le pneu a subi un incendie lors d'un trajet le 11 septembre 2018;
- Le pneu est presque entièrement brûlé lors de l'incendie.

4.2.3.3 Pneu présent au moment de l'accident du 12 septembre

- Le numéro d'identification de l'entreprise qui a rechapé le pneu est Oliver WBR II;
- Le pneu ne porte aucune trace visible d'endommagement de la carcasse;
- La bande de roulement est neuve (pneu nouvellement rechapé);
- Les deux tringles du pneu ont été radiographiées sur les deux côtés du pneu;
- L'analyse des radiographies de la face 1 et 2 démontre que les tringles ne présentent aucune anomalie;
- L'examen du pneu et les radiographies Rx permettent de conclure que le pneu a conservé son intégrité structurale et qu'il est en très bon état.

4.2.3.4 Informations du fabricant Michelin

- Le manuel réfère à la section 177 de la norme 1910 du Règlement OSHA 29 CFR « Entretien des roues monopieces et multipieces »;
- La charge nominale par essieu simple est de 9 000 kg;
- La fiche technique indique une pression de gonflage conseillée de 900 kPa maximum (130 psi);
- Le diamètre du pneu est de 42,24 pouces;
- La charte de gonflage indique une pression minimale de 517 kPa (75 psi) pour un pneu 385/65 R 22.5;
- Les largeurs de jantes conseillées sont de 11,75 et 12,25 pouces;
- Procéder à l'entretien des pneus et des jantes comporte des risques, seul du personnel qualifié et bien outillé devrait en être chargé;
- L'utilisation de pièces endommagées peut causer une rupture violente et soudaine de l'ensemble pneu/jante lors du gonflage;
- Examiner attentivement les ensembles pneu/jante pour y déceler craquelures, distorsion ou déformation des rebords de jante;
- Vérifier l'usure des rebords des jantes à l'aide d'une jauge de mesure appropriée;
- Lors du gonflage, utiliser toujours un dispositif de sécurité, tels une cage ou tout autre dispositif de retenue, dans l'éventualité d'une séparation explosive;
- La méthode de gonflage comporte les étapes suivantes :
 - Déposer l'ensemble pneu/jante à l'horizontale et gonfler au plus à 34 kPa (5 psi) afin que les talons prennent place sur les rebords de jante;
 - Pour compléter l'appui des talons sur la jante, placer l'ensemble dans une cage de sécurité homologuée et gonfler à 138 kPa (20 psi). Vérifier l'ensemble avec soin en portant attention à toute déformation ou anomalie causée par un roulage à plat. Mettre le pneu au rebut, s'il y a trace de roulage à plat;
 - Si rien d'anormal n'est détecté, gonfler l'ensemble à la pression d'air indiquée sur le flanc du pneu puis réduire à la pression d'opération. Vérifier le noyau de la valve

pour détecter les fuites, puis installer le bouchon de valve approprié;

- Lors du gonflage, il ne faut jamais se tenir au-dessus ou encore en face d'un pneu;
- Utilisez toujours un raccord de gonflage amovible avec pistolet de gonflage et indicateur de pression, ou régulateur incorporé à la ligne d'air, et une longueur de boyau suffisante entre le pistolet et le raccord de gonflage afin que l'employé qui gonfle le pneu, puisse se tenir éloigné de la trajectoire de projection éventuelle (Photo 28, Annexe B).

4.2.4 Tâches et équipements

- Le travailleur dispose d'un manomètre manuel à coulisse (10 à 150 psi) pour lire la pression du pneu pendant le gonflage (Photo 21);
- Le mandrin à mâchoire est relié au boyau de gonflage (Photos 18 à 20);
- Le boyau de gonflage est relié au compresseur de l'atelier (Photo 18);
- La mâchoire du mandrin est munie d'un système de blocage à ressort qui permet de rester accroché à la valve de la jante;
- Le mandrin est raccordé à la valve lors de l'éclatement mécanique;
- La roue est maintenue en position verticale, adossée à d'autres roues lors du gonflage;
- La dernière roue est adossée à un mur intérieur de l'atelier;
- Aucun dispositif de retenue de la roue n'est utilisé pendant le gonflage;
- Trois sorties d'air munies de valves à billes sont présentes dans l'atelier;
- Le montage et le gonflage de pneu se font dans l'atelier;
- La méthode de gonflage pour un pneu 385/65 R 22.5 a été transmise verbalement à l'employeur par le fournisseur de pneu;
- Aucune méthode de gonflage écrite pour un pneu 385/65 R 22.5 n'est appliquée par l'employeur;
- La jante Alcoa réutilisée est nettoyée par le travailleur avant le montage;
- Une rectifieuse d'angle électrique munie d'une brosse d'acier a été utilisée pour le nettoyage de la jante;
- Un lubrifiant à pneus de marque Murphy's est appliqué sur le pneu 385/65 R 22.5 pour faciliter son montage sur la jante (Photo 22);
- Le travailleur procède manuellement au montage du pneu sur la jante à l'aide des barres conçues à cette fin;
- Il utilise un compresseur pour gonfler le pneu (Photo 26, annexe B);
- Le compresseur est de marque RK modèle DF-10120H-230;
- Le compresseur a une puissance de 10 chevaux-vapeur (hp) et une capacité de 1034 kPa (150 psi);
- Le compresseur est muni d'un pressostat pour limiter la pression à 1034 kPa (150 psi);
- Le manomètre du compresseur indique environ 1007 kPa (146 PSI) (Photo 27, Annexe B);
- Selon l'employeur, la pression du pneu est montée à 689,48 kPa (100 psi) afin de faire coller le talon du pneu sur la jante;

- Selon l'employeur, le pneu est ensuite descendu à la pression de service de 413,69 kPa (60 psi);
- Le travailleur surveille le gonflage du pneu.



Photo 18



Photo 19



Photo 20



Photo 21

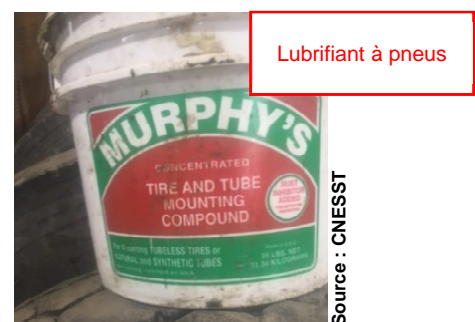


Photo 22

4.2.5 Travailleur

- Le travailleur est projeté à 3,3 mètres du lieu d'impact;
- Il a effectué un stage chez l'employeur [...], dans le cadre de ses études en *Transport par camion*;
- Il a été embauché par l'employeur [...] où il travaillait [...];
- [...]
- [...]
- Le programme de formation *Transport par camion* offerte par le [...] est exempt du volet théorique et pratique relatif au changement de pneu sur les camions semi-remorques;
- Il conduisait des camions semi-remorques à [...] pour l'employeur depuis [...];
- Il était appelé [...] à effectuer des travaux d'entretien sur les camions;
- C'est la première fois qu'il procède au montage complet d'une roue de grande dimension.

4.2.6 Organisation

- C'est l'employeur qui a assigné le travailleur à l'exécution des travaux reliés à la réparation de la roue gauche et de l'essieu relevable;
- Lorsque nécessaire, le travailleur demande à l'employeur les instructions à suivre pour l'accomplissement des travaux de réparation;
- L'employeur supervisait indirectement le travailleur tout au long des travaux de la réparation de la roue gauche de l'essieu relevable de la remorque;
- La méthode préconisée par l'employeur pour le gonflage du pneu provient du fournisseur Atelier de pneus Garo ltée;
- L'employeur a expliqué verbalement au travailleur la méthode de gonflage avant que le travailleur effectue cette étape;
- L'employeur est présent dans l'atelier lors de l'évènement;
- L'employeur se situe à l'avant du camion (Schéma, page 6);
- Le travailleur n'a reçu aucune formation spécifique à l'entretien des pneus de véhicules de grandes dimensions.

4.2.7 Exigences légales

L'entreprise impliquée dans cet accident a des obligations générales en matière de santé et de sécurité du travail. Elles sont décrites dans la Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., chapitre s-2.1). En voici quelques extraits :

Article 51 : L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment :

1° s'assurer que les établissements sur lesquels il a autorité sont équipés et aménagés de façon à assurer la protection du travailleur;

[...]

3° s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur;

[...]

5° utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;

[...]

7° fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état;

[...]

9° informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié;

[...]

4.2.8 Exigences réglementaires

L'article 337 du Règlement sur la santé et sécurité du travail (L.R.Q., chapitre s-2.1, r. 13) prévoit des mesures de sécurité à propos du travail effectué sur les roues de véhicules dont la masse est de 4 500 kg ou plus. On peut y lire ceci :

Article 337 : *Roues sous pressions*

Le travail sur une roue sous pression, incluant la manipulation et l'inspection, doit être effectué selon les règles de l'art.

Le gonflage d'un pneu doit être effectué selon les règles de l'art notamment en utilisant un dispositif de retenue qui empêche la projection de composantes de roue, tels une cage, un support, une chaîne, un assemblage de barres ou, à défaut, toute autre mesure qui assure la sécurité des travailleurs.

4.2.9 Littérature

4.2.9.1 Règlement OSHA sec. 1910.177 : Entretien des roues monopieces et multipieces (Chapitre 7-1)

(c) Formation des employés

(1) *L'employeur doit offrir un programme de formation à tous les employés affectés à l'entretien des roues, lequel programme doit être axé sur les dangers inhérents à l'entretien des roues, ainsi que sur les mesures de sécurité devant être adoptées.*

(i) *L'employeur doit s'assurer qu'aucun employé n'ayant pas reçu une formation axée sur les méthodes adéquates d'entretien des roues ainsi que sur les mesures de sécurité décrites aux paragraphes (f) et (g) de cette section, puisse être affecté à l'entretien des roues.*

(ii) *L'information qui sera utilisée à l'intérieur du programme de formation devra comprendre au moins les données applicables contenues dans les tableaux (manuels sur les roues) et le contenu de cette norme.*

(iii) *Si l'employeur sait ou a des raisons de croire qu'un de ses employés est incapable de lire et de comprendre les tableaux ou le manuel sur les roues, il doit s'assurer que le contenu de ces tableaux et de ce manuel lui soit expliqué de façon à ce qu'il soit en mesure de les comprendre.*

(2) *L'employeur doit s'assurer que chaque employé possède la capacité de voir à l'entretien sécuritaire des roues et maintienne cette capacité, ceci, incluant l'exécution des tâches suivantes :*

(i) *Le démontage des pneus (incluant le dégonflage);*

(ii) *L'inspection et l'identification des composantes de la roue;*

(iii) *Le montage des pneus (incluant le gonflage à l'aide d'un dispositif de retenue, de même que toutes autres mesures de protection exigées à l'intérieur de cette section);*

(iv) *L'utilisation d'un dispositif de retenue ou d'un écran protecteur, de même que les autres pièces d'équipements exigées à l'intérieur de cette section;*

(v) *La manipulation des roues;*

(vi) *Le gonflage du pneu lors de l'installation d'une roue monopiece sur un véhicule;*

(vii) *La compréhension de la nécessité de demeurer hors de la trajectoire dangereuse, autant durant le gonflage du pneu que lors de l'inspection de la roue après le gonflage; et*

(viii) *L'installation et le retrait des roues.*

(3) *L'employeur doit évaluer la capacité de chaque employé à effectuer et à voir à l'entretien des roues de façon sécuritaire, et au besoin, de fournir une formation additionnelle afin de s'assurer que chaque employé maintienne cette capacité.*

(d) *Équipement d'entretien des pneus*

(2) *L'employeur doit fournir un dispositif de retenue ou un écran protecteur pour le gonflage des pneus montés sur des roues monopières, à moins que la roue soit boulonnée au véhicule lors du gonflage.*

(4) *L'employeur doit fournir une conduite d'air pour le gonflage des pneus et il doit s'assurer qu'elle est composée des éléments suivants :*

(i) *Un mandrin à air doté d'une pince de retenue;*

(ii) *Une valve de conduite dotée d'un manomètre et d'un régulateur pré réglable; et*

(iii) *un boyau d'une longueur suffisante entre le mandrin à air, doté d'une pince de retenue, et la valve de conduite (si utilisée) afin de permettre à l'employé de demeurer à l'extérieur de la trajectoire dangereuse.*

(5) *Des tableaux courants ou les manuels sur les roues, contenant les directives relatives au type de roues faisant l'objet d'entretien, doivent être accessibles à l'intérieur de la zone de travail.*

(e) *Acceptabilité des composantes de roue*

(2) *Les composantes de roues monopières doivent être inspectées avant l'assemblage. Toute roue ou toute composante de roue qui est déformée, piquée par la corrosion, brisée ou fissurée ne doit pas être utilisée et doit être marquée ou étiquetée comme impropre à l'utilisation, et doit être retirée de la zone de travail.*

(g) *Procédure opérationnelle sécuritaire - roues monopières*

L'employeur doit établir une procédure opérationnelle sécuritaire pour l'entretien des roues monopières, et il doit s'assurer que les employés connaissent et suivent cette procédure. La procédure doit au moins inclure les éléments suivants :

(6) *Les pneus peuvent être gonflés seulement lorsqu'ils se trouvent à l'intérieur d'un dispositif de retenue, placés derrière un écran protecteur ou que les roues sont boulonnées sur le véhicule, alors que les écrous sont complètement serrés.*

(7) *Les pneus ne doivent pas être gonflés si une surface solide ou plane se trouve dans la trajectoire dangereuse ou s'ils sont à moins d'un pied d'une paroi latérale.*

(8) *Les employés doivent demeurer hors de la trajectoire dangereuse lors du gonflage de pneu;*

(10) Les pneus ne doivent pas être gonflés au-delà de la pression de gonflage recommandée par le fabricant pour que le talon vienne s'appuyer fermement contre le rebord de roue;

(11) Les roues monopieces ne doivent pas être soumises à la chaleur.

4.2.9.2 Entretien des pneus de véhicules de grandes dimensions (ISBN 978-2-550-66943-2): Work Safe BC (traduction CSST juin 2013)

Page 6 : Formation

Il est recommandé que l'employeur pourvoie à la formation adéquate des employés qui font fonctionner de la machinerie et des équipements divers. Pour ce qui est de l'entretien des pneus, cette formation doit comprendre les éléments suivants :

1. ...
2. *Inspection des composantes de la jante et de la roue pour vérifier s'il y a un défaut d'alignement ou d'autres dommages. On entend par dommage : de la corrosion, (...), des dommages à la base des jantes, et des talons de pneus tordus ou brisés;*
3. *Montage des jantes et des roues selon les règles de l'art. Cette formation doit comprendre la procédure à suivre, les outils et l'équipement de protection requis, les inspections à effectuer et les étapes à suivre pour gonfler les pneus;*
4. *Utilisation efficiente des dispositifs de retenue;*
5. *Assemblage, dans les règles, des pneus, des jantes et des roues, incluant l'utilisation possible d'aide mécanique pour les ensembles lourds;*
6. *Installation et pose des assemblages de pneus.*

L'employeur doit s'assurer que chaque employé a fait la preuve de sa capacité à exécuter ces tâches en toute sécurité.

Page 15 et 16 : Montage

1- Nettoyer et examiner soigneusement toutes les pièces de la roue et du pneu. Noter tout signe de fendillement, d'usure, de corrosion et de déformation; vérifier si les talons sont brisés ou tordus et s'assurer que le pneu et la jante sont bien de taille et de capacités de charge égales. Au besoin, protéger les jantes de la corrosion en y appliquant un apprêt à métal.

Ne jamais réutiliser une pièce tordue, fendillée, usée ou très corrodée. Sa manipulation inappropriée pourrait causer un accident, et donc, des blessures, ou même la mort pour quiconque devra manipuler la roue. Ne pas tenter de souder ou de braser un assemblage ou des composants de roues à moins que le fabricant ne le permette;

2.

3. Dispositif de retenue : Il est recommandé de placer le pneu dans un dispositif de retenue approprié, c'est-à-dire une cage, des barres en T ou des chaînes de sécurité, avant de le gonfler. Le dispositif doit pouvoir absorber la force explosive et être d'une taille appropriée pour retenir les pièces du pneu ou de la roue en cas d'explosion;

4. Il est recommandé de gonfler le pneu à l'aide d'un raccord de gonflage à pince avec jauge et soupape en ligne et de rester hors de la trajectoire possible des pièces. Vérifier si le pneu et la jante sont bien placés avant de retirer l'assemblage de pneu du dispositif de retenue. Si le talon n'est pas bien en place, dégonfler entièrement le pneu et reprendre la procédure de montage;

5. Rester hors de la trajectoire possible des pièces pendant le gonflage.

4.2.9.3 L'éclatement et l'explosion des pneus de véhicules lourds : IRSST / Via Prévention (2009)

Page 9 : Avant de procéder à la pose du pneu

Toujours inspecter la jante :

- *L'état général (trace d'impact, fissure, trace de surchauffe);*
- *La géométrie (roue voilée, déformée);*
- *L'indication d'usure.*

Si la jante semble déformée ou usée au niveau de l'épaule, s'assurer qu'elle respecte le gabarit et les tolérances spécifiées par le fabricant ou la faire inspecter par des experts.

Ne jamais monter un pneu sur une jante :

- *Fissurée;*
- *En mauvais état (usure, corrosion, orifices de fixation déformés, jante voilée);*
- *Ayant subi une surchauffe importante (incendie ou quasi-incendie).*

Page 10 : Le gonflage des pneus

Afin d'éviter tout risque d'accident et de blessure lors du gonflage des pneus, les précautions suivantes doivent être prises :

- *Placer la roue dans une cage de retenue;*
- *Utiliser toujours un mandrin de gonflage à mâchoire avec une rallonge de boyau d'air, munie d'une valve de contrôle et d'un manomètre;*
- *Maintenir une distance sécuritaire (environ 2 m) entre le travailleur et le pneu à gonfler. Le travailleur devrait toujours se placer à l'extérieur de la zone de projection. Il est préférable de faire face à la semelle du pneu.*

4.2.9.4 Étude et caractérisation des phénomènes d'éclatement et d'explosion des pneus de camion : Lionel Michel, 2010

La cause la plus commune des phénomènes d'éclatement ou d'explosion de pneu est un apport de chaleur au système pneu-jante. Cet apport de chaleur déclenche des réactions chimiques qui dégradent le caoutchouc des pneus produisant alors des gaz et des matières inflammables. Il s'agit principalement des réactions de pyrolyse, thermo-oxydation et de combustion. En s'ajoutant au phénomène d'expansion thermique et à la diminution des propriétés mécaniques du pneu par divers facteurs, les gaz produits contribuent à l'augmentation de la pression dans le pneu et augmentent ainsi le risque d'éclatement ou d'explosion.

L'éclatement de pneu par surpression, quant à lui, survient lorsque le pneu est gonflé bien au-delà de la pression nominale recommandée. Les calculs numériques et un essai destructif de gonflage hydrostatique ont par exemple permis d'établir un facteur de sécurité de l'ordre de 2,5 pour un pneu neuf de taille 11R22.5.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 La surchauffe du tambour de frein et l'incendie du pneu entraînent la déformation de la jante d'aluminium.

En déplacement de la forêt vers la scierie, il y a une surchauffe du tambour de frein gauche de l'essieu relevable de la semi-remorque et un incendie s'en suit. Celle-ci s'explique par une défaillance de la valve relais qui achemine l'air au système de freinage. Cette défaillance empêche la relâche complète (relâche lente) du frein gauche et entraîne une surchauffe du tambour.

L'expertise mentionne que l'ensemble roue, constitué par la jante et le pneu, a subi un blocage partiel des freins, ce qui a augmenté la température à un point tel que le pneu a pris feu. La température d'inflammation du caoutchouc étant de 340°C, on estime que la jante a été exposée à des températures mêmes supérieures à ces valeurs.

La jante d'aluminium avec le traitement thermique T-6 subit une baisse importante de sa limite d'élasticité à une température approximative de 177°C. La dureté Brinell minimum acceptée pour ce type d'alliage d'aluminium est de 80 HB. La mesure de dureté typique pour cet alliage est de 95 HB. Les résultats de mesures démontrent que la jante, sous l'action de la chaleur, a subi une baisse de dureté atteignant des valeurs aussi basses que 62 HB sur son côté intérieur.

L'analyse de ces mesures de dureté confirme que c'est la chaleur excessive qui a altéré ses propriétés mécaniques. La roue installée sur la semi-remorque a subi des charges dynamiques qui ont dépassé les limites de sa résistance élastique altérée par la chaleur. Ces sollicitations ont entraîné de nombreuses déformations de la jante et la perte de son intégrité géométrique. Même sans défaut apparent à la jante, il pourrait survenir une déformation lors de son utilisation en service normal à cause de ses pertes de propriétés mécaniques démontrées (surchauffe).

Les mesures prises sur différents plans du côté intérieur de la jante démontrent que les déformations de son diamètre (13,9 mm) et de sa largeur (8,5 mm) sont largement à l'extérieur de la tolérance du fabricant de 0,762 mm. Ces mesures montrent une excentricité (centre différent) de 12,2 mm du côté intérieur par rapport au côté extérieur. L'ensemble de ces mesures prouve que la jante est ovale et voilée. De plus, le côté intérieur de la jante subit une déformation importante sur le tiers de sa circonférence et s'ouvre vers l'extérieur (déroule le rebord d'un verre de carton). Cela fait en sorte que le rebord de jante est pratiquement inexistant du côté intérieur, offrant peu d'appui au talon du pneu lors du gonflage.

La température de 340°C nécessaire à l'inflammation du pneu prouve que la température de 177°C a largement été dépassée. Lors de l'intervalle d'augmentation de la température (entre 177°C et 340°C), la roue gauche de l'essieu relevable du camion semi-remorque en déplacement subit des contraintes dynamiques importantes. Les valeurs de dureté aussi basses que 62 HB obtenues du côté intérieur de la jante démontrent à quel point celle-ci a été affectée par l'augmentation de la température causée par la surchauffe. Les différentes prises de mesures démontrent clairement l'ampleur de ces déformations sous plusieurs plans.

La surchauffe du tambour de frein a engendré une température suffisamment élevée pour enflammer le pneu et faire subir à la jante une baisse importante de sa limite d'élasticité et causé des dommages importants et permanents.

Cette cause est retenue.

4.3.2 L'utilisation d'une jante déformée et l'absence d'un dispositif de retenue empêchant la projection de la roue lors du déjantage mécanique mènent aux conditions permettant l'accident.

L'expertise effectuée sur la jante démontre clairement qu'elle présente des déformations majeures suffisantes pour être retirée du service. Ces déformations se trouvent bien au-delà des limites de tolérance du fabricant. Selon l'expert, le montage adéquat d'un pneu compatible avec cette jante était impossible. Ces déformations telles que le voilage et l'ovalisation imposent au pneu monté sur la jante une position non uniforme. De plus, le rebord de jante du côté intérieur, étant d'une hauteur minimale, est insuffisant à retenir sécuritairement le talon du pneu lors de son gonflage. Par conséquent, sous forte pression, la séparation entre le pneu et la jante se produit, l'air s'échappe violemment et propulse l'ensemble avec une grande énergie.

La méthode de gonflage communiquée verbalement au travailleur par l'employeur consiste à monter la pression du pneu à 689,48 kPa (100 psi) afin de faire coller le talon du pneu sur la jante. Par la suite, le pneu doit être descendu à la pression de service de 413,69 kPa (60 psi).

Le fabricant recommande de gonfler le pneu à l'horizontale, au plus à 34 kPa (5 psi), afin que les talons prennent place sur les rebords de jante. Ensuite, placer l'ensemble dans une cage de sécurité homologuée et gonfler à 138 kPa (20 psi) pour vérifier l'ensemble avec soin. S'assurer qu'il n'y ait aucune déformation ou anomalie avant de gonfler l'ensemble à la pression d'air indiquée sur le flanc du pneu.

Comme une méthode de gonflage adéquate n'assure pas une sécurité totale, les fabricants, la réglementation ainsi que la littérature stipulent que pour ce type de pneu, le gonflage doit être effectué en utilisant un dispositif de retenue, tels une cage, un support, une chaîne, un assemblage de barres, etc., qui empêche la projection de composantes de roue. Il est également recommandé d'utiliser un raccord de gonflage amovible avec un pistolet de gonflage, un indicateur de pression intégré à la ligne d'air et une longueur de boyau suffisante entre le pistolet et le raccord de gonflage, afin que

l'employé qui gonfle le pneu puisse se tenir éloigné de la trajectoire de projection éventuelle.

Pour effectuer l'opération, le travailleur accidenté ne bénéficie d'aucune des mesures de sécurité prescrites ou recommandées. Il s'accroupit devant la roue pour y lire la pression à l'aide d'un manomètre manuel à coulisse et pour enlever ou replacer le mandrin de gonflage en fonction de la lecture de pression. Ce faisant, une partie de son corps se retrouve dans la zone de projection lors du déjantage du pneu alors qu'aucun dispositif de retenue n'est présent. Le travailleur est atteint à la tête.

On ne peut connaître la pression à laquelle le déjantage s'est produit. Cependant, la littérature nous informe que le bris de la tringle nécessaire à l'éclatement d'un pneu en bon état et d'une jante en bonne condition est d'environ 2,5 fois la pression maximale recommandée par le fabricant. Le compresseur de l'atelier est muni d'un pressostat pneumatique qui limite la pression à 1034 kPa (150 psi), alors que la pression maximale recommandée par le fabricant de pneus est de 896 kPa (130 psi). Dans ce cas-ci, la pression maximale possible est seulement de 1,13 fois supérieure à la pression d'éclatement, ce qui prouve que le déjantage mécanique est dû à la déformation de la jante et non au surgonflage.

L'utilisation de la jante déformée au-delà des tolérances acceptables rend inévitable le déjantage mécanique. Étant donné l'absence d'un dispositif de retenue pour empêcher la projection de la roue, celle-ci est propulsée avec une grande énergie en direction du travailleur.

La cause est retenue.

4.3.3 L'absence de règles de sécurité et de formation en matière d'installation et de gonflage de pneus expose le travailleur au danger d'être percuté par une pièce projetée.

Le manuel de jantes Alcoa mentionne que tous les ateliers de pneus doivent connaître et observer les règlements de l'OSHA quelle que soit l'importance de l'atelier. Il indique qu'un travailleur doit détenir la formation appropriée avant de procéder à l'entretien d'une roue.

Alcoa recommande de vérifier toutes les parties de la jante lors du remplacement d'un pneu. Lors du gonflage, toujours utiliser un dispositif de sécurité, tels une cage ou tout autre dispositif de retenue, dans l'éventualité d'une séparation explosive. Une attention particulière doit être portée au contour et aux surfaces de la jante.

Ce manuel mentionne qu'une chaleur excessive causée par un incendie, un mauvais fonctionnement des freins, ou toute autre source de chaleur excessive peut affaiblir le métal et provoquer le déjantage du pneu par explosion. Toute jante ayant été exposée à une chaleur excessive doit être retirée immédiatement de la circulation de façon permanente. La structure d'une roue en aluminium peut être grandement affaiblie par une chaleur excessive incontrôlée. Les jantes qui ont été exposées à une telle chaleur ou qui ont été endommagées de quelque façon que ce soit, peuvent ne plus avoir la dimension

et le contour requis pour retenir le talon du pneu lorsque celui-ci est sous pression. Les jantes dont la dimension et le contour ne sont pas adéquats peuvent provoquer un déjantage du pneu par explosion. Le manuel définit les différents critères de mesure et de vérification de la jante.

Le fabricant de pneus Michelin mentionne que seul du personnel qualifié et bien outillé doit procéder à l'entretien des pneus et des jantes. L'utilisation de pièces endommagées peut causer une rupture violente et soudaine de l'ensemble pneu/jante lors du gonflage. Celle-ci doit être examinée attentivement pour y déceler les craquelures, une distorsion ou une déformation des rebords de jante. Une jauge doit être utilisée pour vérifier l'usure des rebords. Lors du gonflage, il ne faut jamais se tenir au-dessus ou encore en face d'un pneu. Il faut toujours utiliser un raccord de gonflage amovible avec un pistolet de gonflage et un indicateur de pression, ou un régulateur incorporé à la ligne d'air, et une longueur de boyau suffisante entre le pistolet et le raccord de gonflage, afin que l'employé puisse se tenir éloigné de la trajectoire de projection éventuelle. Lors du gonflage, le travailleur doit toujours utiliser un dispositif de sécurité, tels une cage ou tout autre dispositif de retenue, dans l'éventualité d'une séparation explosive.

Michelin demande de gonfler le pneu à l'horizontale à un maximum de 34 kPa (5 psi afin que les talons prennent place sur les rebords de jante. Pour compléter l'appui des talons sur la jante, placer l'ensemble dans une cage de sécurité homologuée et gonfler à 138 kPa (20 psi). L'ensemble doit être vérifié avec soin en portant attention à toute déformation ou anomalie causée par un roulage à plat. Si rien d'anormal n'est détecté, le pneu doit être gonflé à la pression d'air indiquée sur le flanc du pneu.

La section 1910.177 du règlement OSHA mentionne que l'employeur doit, avant qu'un travailleur œuvre sur une roue, donner à ces derniers une formation axée sur les dangers inhérents à l'entretien des roues et les mesures de sécurité à adopter. Il doit s'assurer que les travailleurs connaissent la manière d'effectuer l'inspection des composantes d'une roue, la méthode de gonflage d'un pneu, l'utilisation d'un dispositif de retenue et la nécessité de demeurer hors de la trajectoire dangereuse. Il doit évaluer la capacité des travailleurs à mettre en application la formation apprise.

Cette section demande que l'employeur fournisse un dispositif de retenue ou un écran protecteur pour le gonflage des pneus montés sur des roues monopieces. La conduite d'air pour le gonflage des pneus doit être munie d'un mandrin à air doté d'une pince de retenue, une valve de conduite avec manomètre et un régulateur préréglable. Le boyau doit être d'une longueur suffisante entre le mandrin à air et la valve de conduite afin de permettre au travailleur de demeurer à l'extérieur de la trajectoire dangereuse.

Cette même section demande que les composantes de roue à jante monopiece soient inspectées avant l'assemblage. Aucune jante ne doit être utilisée lorsqu'elle est déformée, piquée par la corrosion, brisée ou fissurée. L'employeur doit établir une procédure de travail sécuritaire pour l'entretien des roues à jante monopiece. Il doit s'assurer que les travailleurs connaissent et suivent cette procédure. Celle-ci doit mentionner que les pneus soient gonflés à l'intérieur d'un dispositif de retenue, placés derrière un écran protecteur

ou que les roues soient boulonnées sur le véhicule et que les écrous soient complètement serrés. Les pneus doivent être gonflés uniquement s'ils sont à plus de 30 cm d'une paroi latérale. Les travailleurs doivent demeurer hors de la trajectoire dangereuse lors du gonflage de pneu. Ils doivent se référer au manuel du fabricant afin de connaître la pression maximale nécessaire pour faire appuyer fermement le talon sur le rebord de la jante. Aucune jante monopiece ne doit être soumise à la chaleur.

La LSST exige à l'employeur d'identifier, de contrôler et d'éliminer les risques pour assurer la santé et la sécurité des travailleurs dans son entreprise. Il doit fournir des équipements sécuritaires, informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte qu'il ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir, de façon sécuritaire, le travail qui lui est confié.

Le RSST a des exigences concernant le travail sur une roue sous pression d'un véhicule dont la masse est de 4 500 kg et plus. Le gonflage du pneu doit être effectué selon les règles de l'art, notamment en utilisant un dispositif de retenue qui empêche la projection de composantes de roue, tels une cage, un support, une chaîne, un assemblage de barres ou, à défaut, toute autre mesure qui assure la sécurité des travailleurs.

Dans l'atelier de mécanique de l'employeur, il n'y a aucun manuel des fabricants de la jante Alcoa et du pneu Michelin.

Le travailleur procède au nettoyage de la jante à la suite de l'incendie survenu la veille sur l'essieu relevable de la semi-remorque. L'employeur, au fait de l'évènement, voit le travailleur en train de faire l'opération. Le travailleur assemble la roue et procède au gonflage. Ce dernier n'a suivi aucune formation spécifique à cette tâche. L'employeur lui explique verbalement la procédure de gonflage. Le positionnement de la roue à la verticale sur le mur est la façon de faire usuelle dans l'atelier. Aucun moyen de retenue n'est utilisé en cas de projection de la roue. Le travailleur doit se positionner accroupi dans la trajectoire de projection afin d'installer ou d'enlever le mandrin à mâchoire et pour effectuer la vérification de la pression à l'aide du manomètre à coulisse.

L'employeur supervise indirectement le travailleur tout au long des travaux de réparation de la roue gauche. Celui-ci n'intervient nullement auprès de son travailleur même s'il le voit œuvrer sur la jante qui a subi une chaleur excessive provoquée par le mauvais fonctionnement des freins. L'inspection de cette dernière aurait permis d'observer les déformations.

Par méconnaissance, l'employeur n'utilise aucune consigne de sécurité concernant la formation des travailleurs, les mesures de sécurité comme l'utilisation d'une cage ou d'autres moyens de retenue lors du gonflage, l'inspection de la jante, l'utilisation d'une mesure permettant l'éloignement du travailleur tout au long de l'activité de gonflage et la supervision du travailleur.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- La surchauffe du tambour de frein et l'incendie du pneu entraînent la déformation de la jante d'aluminium.
- L'utilisation d'une jante déformée et l'absence d'un dispositif de retenue empêchant la projection de la roue lors du déjantage mécanique mènent aux conditions permettant l'accident.
- L'absence de règles de sécurité et de formation en matière d'installation et de gonflage de pneus expose le travailleur au danger d'être percuté par une pièce projetée.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Lors de l'intervention du 12 septembre 2018, une décision est émise et est contenue dans le rapport RAP1236447. Cette décision ordonne l'arrêt du gonflage de pneu de véhicules d'au moins 4 500 kg incluant sa charge nominale dans l'entreprise, car l'employeur n'utilise aucun dispositif de retenue qui empêche la projection de composantes de la roue, tels une cage, un support, une chaîne, un assemblage de barres ou à défaut, toute autre mesure qui assure la sécurité des travailleurs.

Des mesures correctives sont demandées dans le rapport RAP1236433 émis le 14 septembre 2018 concernant la sécurité des machines dans l'atelier de mécanique.

Une mesure corrective a été demandée dans le rapport d'intervention RAP1238298, émis le 2 octobre 2018. Celle-ci exige que l'employeur rédige une procédure relative au gonflage des pneus d'un véhicule de 4 500 kg, incluant sa charge nominale, et à l'utilisation sécuritaire de la cage de retenue.

La décision émise dans le rapport RAP1236447 a fait l'objet d'un suivi et a été levée dans le rapport RAP1238298.

Les dérogations émises dans le rapport RAP1236433 ont fait l'objet d'un suivi et sont finalisées dans le rapport RAP1238298.

La dérogation émise dans le rapport RAP1238298 a fait l'objet d'un suivi et est finalisée dans le rapport RAP1242872.

5.3 Suivi à l'enquête

Afin d'éviter qu'un tel accident ne se reproduise, la CNESST informera l'Association du camionnage du Québec, l'Association nationale des camionneurs artisans, l'Association des routiers professionnels du Québec, le Regroupement des entrepreneurs et des

camionneurs indépendants du Québec ainsi que l'Association des spécialistes de pneu et mécanique du Québec afin qu'ils avisent leurs membres des conclusions de l'enquête.

Dans le cadre de son partenariat avec le MEES, le rapport d'enquête sera diffusé dans les établissements de formation offrant le programme d'études *Mécanique de véhicules lourds routiers*.

**ANNEXE A
ACCIDENTÉ**

Nom, prénom : [B]
Sexe : [...]
Âge : [...]
Fonction habituelle : [...]
Activité lors de l'accident : Entretien mécanique
Expérience dans cette fonction : [...]
Ancienneté chez l'employeur : [...]
Syndicat : [...]

ANNEXE B
PHOTOS

Jante accidentée



Photo 23 – Valve cassée, absence de filet



Photo 24

Absence de filet

Jante du côté droit de l'essieu relevable



Photo 25 – Valve en bon état

Le manomètre du compresseur indique environ 146 psi



Source : CNESST

Photo 26 - Compresseur 10 hp de marque RK



Source : CNESST

Photo 27 – Manomètre



Source : Internet

La longueur minimale du boyau doit être d'au moins 1,8 m afin que le travailleur puisse se tenir à un minimum de 2 m du pneu en phase de gonflage.

Photo 28 – Exemple d'un mandrin (raccord) amovible avec pistolet de gonflage et indicateur de pression

ANNEXE C**Liste des personnes et témoins rencontrés**

Monsieur [A], Transport S. Hallé et Filles inc.
Madame Kathy Dérosby, enquêteuse, Sûreté du Québec
Monsieur Tony Dubé, agent, Sûreté du Québec
Monsieur Vincent Bisson, agent, Sûreté du Québec
Monsieur [C]

ANNEXE D

Rapport d'expertise



11/02/2019

**Expertise technique dans le dossier de l'accident
mortel de déjantage du 12 septembre 2018 chez
Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau**



Polytechnique de Montréal

Expertise technique dans le dossier de l'accident mortel de déjantage du 12 septembre 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

Rapport d'investigation technique

Dossier CNESST # DPI4278554

Dossier Corporation de l'École Polytechnique # 04-5701

Préparé pour :

CNESST – Direction régionale Côte-Nord

700, boul. Laure, bureau 236, Sept-Îles (Québec) G4R 1Y1

**Aurelian
Vadean** Signature
numérique de
Aurelian Vadean
Date : 2019.02.11
14:49:07 -05'00'

Aurelian Vadean, ing., Doct., directeur du projet

Professeur Polytechnique de Montréal

René Benoit, expert SST

SOMMAIRE

Le 12 septembre 2018, un travailleur est décédé lorsqu'il s'affairait à gonfler un pneu de camion lourd, qu'il avait monté sur une jante en aluminium. La CNESST a mandaté l'École Polytechnique de Montréal pour effectuer une expertise du pneu et de la jante afin de l'aider à déterminer les causes techniques de l'accident.

Dans un premier temps l'investigation porte sur les faits et les circonstances qui ont précédé l'accident. La veille de l'accident, le chauffeur effectuait un transport de billes de bois avec un camion poids lourd. La roue gauche d'un essieu de la remorque s'est enflammée à la suite d'un blocage partiel des freins. Il a réussi à éteindre l'incendie et ramener le véhicule au garage de l'entreprise. Le lendemain, jour de l'accident, le chauffeur a procédé à l'enlèvement de la jante du camion afin de la nettoyer et de la réutiliser pour y installer un nouveau pneu. C'est en effectuant ce travail sur la roue que l'assemblage a brusquement déjanté en frappant mortellement le travailleur. Les fabricants de pneus et de jantes publient de nombreuses mises en garde, procédures et exigences techniques pour s'assurer de l'intégrité de leur produit, de leur entretien et de leur utilisation sécuritaire. Dans ce contexte, afin d'identifier les défaillances et leurs causes, des examens visuels des pièces, des radiographies Rx du pneu, des mesures métrologiques de la jante de même que des mesures de dureté du matériau de la jante ont été réalisés.

L'analyse de l'ensemble des informations, des résultats des tests et des mesures effectuées a permis d'établir des corrélations importantes entre les différents facteurs et causes de l'accident. Le fabricant de la jante prescrit la mise aux rebuts d'une jante en aluminium lorsqu'elle a été exposée à une chaleur excessive résultant d'un incendie, d'un dysfonctionnement des freins, d'une défaillance d'un pneu ou d'autres causes. Les résultats de l'expertise permettent de démontrer qu'en raison de la surchauffe du tambour de frein et de l'incendie, les propriétés du matériau constituant de la jante (résistance mécanique insuffisante) et les critères géométriques (déformation, ovalisation et excentricité des diamètres) de la jante ne sont plus conformes aux critères d'exploitation et spécifications du fabricant. Le gonflage d'un pneu installé sur une jante réutilisée dans ces conditions présente un risque extrêmement élevé de déjantage.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

v

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES TABLEAUX	3
1. INTRODUCTION	4
2. EXAMEN DES INFORMATIONS, DU CONTEXTE ET DU FIL DES ÉVÉNEMENTS AYANT CONDUIT À L'ACCIDENT	5
2.1 DÉROULEMENT DES ÉVÉNEMENTS JUSQU'AU MOMENT DE L'ACCIDENT.....	5
2.2 REMARQUES SUR LES PHÉNOMÈNES AYANT CONDUIT À L'INCENDIE.....	6
2.3 REMARQUES IMPORTANTES SUR LA REMISE EN CIRCULATION D'UNE JANTE AYANT SUBI UNE EXPOSITION À LA CHALEUR INTENSE.....	6
3. EXAMEN DES PIÈCES (PNEU ET JANTE DE L'ACCIDENT)	8
3.1 EXAMEN DU PNEU.....	8
3.1.1 Description du pneu.....	8
3.1.2 Examen visuel du pneu.....	9
3.1.3 Radiographie Rx du pneu.....	9
3.2 EXAMEN DE LA JANTE.....	11
3.2.1 Les observations visibles sur l'extérieur de la jante.....	11
3.2.2 Mesures de la dureté sur différents points de la jante.....	13
3.2.3 Le mesurage de la jante.....	14
4. DISCUSSION SUR LES OBSERVATIONS ET LES RÉSULTATS	18
4.1 ANALYSE DES RÉSULTATS DE DURETÉ DE LA JANTE.....	18
4.2 ANALYSE DES RÉSULTATS DE MÉTROLOGIE DE LA JANTE.....	19
4.2.1 Analyse du mesurage radial de la jante.....	19
4.2.2 Analyse du mesurage axial de la jante.....	22
4.3 CORRÉLATIONS ENTRE LE DÉROULEMENT DES ÉVÈNEMENTS ET L'ÉTAT DES COMPOSANTES DE LA ROUE.....	24
5. CONCLUSIONS	26
5.1 L'ÉTAT ET L'INTÉGRITÉ DU PNEU.....	26
5.2 L'ÉTAT, LA GÉOMÉTRIE ET L'INTÉGRITÉ DES PROPRIÉTÉS DU MATÉRIAU DE LA JANTE.....	26
5.3 CAUSES DE LA DIMINUTION DES CAPACITÉS MÉCANIQUES ET DES DÉFORMATIONS DE LA JANTE.....	26
5.4 LE DÉJANTAGE ET LA PROPULSION VIOLENTE DE LA JANTE.....	26
5.5 CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....	26
6. TEXTES TIRÉS DU « SERVICE MANUAL FOR ALCOA WHEELS » (ALCOA CORPORATION 2017)	27
6.1 AVERTISSEMENT DE SÉCURITÉ ALCOA SECTION 1-1 PAGE 2-3.....	27
6.2 AVERTISSEMENT POUR JANTE EXPOSÉE À LA CHALEUR ALCOA « HEAT DAMAGE » SECTION 3-3, P. 6.....	28
6.3 AVERTISSEMENT DÉFORMATION JANTE EXPOSÉE À LA CHALEUR ALCOA (ALCOA CORPORATION 2017) SECTION 3-4 DIMENSION, HEAT DAMAGE AND OTHER CHECKS P. 7.....	28
7. TEXTES TIRÉS DE (MICHELIN TRUCK TIRE DATA BOOK 2018)	29
8. ANNEXE # 1 - INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR LES RADIOGRAPHIES DU PNEU	
8.1 INTRODUCTION.....	30

8.2	DESCRIPTION DU MONTAGE POUR LA PRISE DES RADIOGRAPHIES.....	30
8.3	PHOTOS DES RADIOGRAPHIES RX DES TRINGLES	30
8.3.1	<i>Photos des Rx de la face #1 du pneu.....</i>	<i>30</i>
8.3.2	<i>Photos des Rx de la face #2 du pneu.....</i>	<i>31</i>
8.4	ÉTAT GÉNÉRAL DES 2 TRINGLES DU PNEU	31
9.	ANNEXE # 2 - INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES À L'IDENTIFICATION DE LA JANTE 37	
10.	ANNEXE # 3 - RELEVÉ DES MESURES DE DURETÉ DE LA JANTE	39
11.	REFERENCES.....	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Photo du camion semi-remorque (Source : CNESST)	5
Figure 2. Essieu relevable gauche (Source : CNESST).....	5
Figure 3 Construction type du pneu Michelin XZY3 (Michelin North America Inc. 2018).....	9
Figure 4. Photo des 2 faces du pneu.	10
Figure 5. Exemple Rx de la tringle du pneu sur la face 1 pour le secteur 1-2.....	10
Figure 6. Noircissement de la jante	12
Figure 7. Déformation locale et rayure sur la surface d'installation du pneu	12
Figure 8. Aplatissement de la jante dans la zone près de la valve du côté intérieur	13
Figure 9. Repères des zones de prise de mesure de dureté. La position de la valve est à 0°	14
Figure 10. Jante en position de mesurage sur la machine de mesurage en coordonnées	15
Figure 11. Position des points mesurés sur le profil de la jante	16
Figure 12. Mesures du cercle D1	20
Figure 13. Mesure du cercle D3.....	20
Figure 14. Mesures du cercle D2.	21
Figure 15. Mesure du cercle D4.....	21
Figure 16. Représentation du défaut de concentricité des cercles D3 et D4.....	22
Figure 17. Représentation des battements axiaux en fonction de la position angulaire	23
Figure 18. Visualisation de la déformation du rebord de la jante avec la jauge placée à 0° et à 180°	23
Figure A1-19. Photo du pneu face #1 divisée en 9 secteurs, face #2 en 7 secteurs	31
Figure A1-20. Vue de face et vue de dessus du montage pour les Rx du pneu.....	31
Figure A1-21. Photo de la source et orientation du Rx vers la tringle du pneu	32
Figure A1-22. Schéma de la localisation de la tringle à l'intérieur du pneu (Auxerre 2004)	32
Figure A1-23. Photos Rx 4 secteurs points 0 à 4, tringle Face #1	33
Figure A1-24. Photos Rx 5 secteurs points 4 à 0, tringle Face #1	34
Figure A1-25. Photos Rx 4 secteurs points 0 à 4, tringle face #2	35
Figure A1-26. Photos Rx 3 secteurs points 4 à 0, tringle face #2	36
Figure A2-27. Tableau Alcoa pour l'identification des jantes Alcoa.....	37
Figure A2-28. Photo des marques d'identification de la jante	37
Figure A2-29. Tableau des caractéristiques spécifiques de la jante expertisée	37

2

Figure A3-30. Rapport de duretés relevées sur la jante 39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats des analyses de mesures radiales..... 16

1. INTRODUCTION

Le 12 septembre 2018, un travailleur s'affairait à gonfler un pneu Michelin 385/65R22.5 modèle XZY3 pour camion, qu'il avait monté sur une jante Alcoa 22.5x12.25 pouces en aluminium. Le travailleur était à proximité de l'assemblage lorsque le pneu a brutalement déjanté projetant l'assemblage sur lui et le blessant mortellement. La CNESST a mandaté l'École Polytechnique de Montréal pour effectuer une investigation technique du pneu et de la jante afin de l'aider à déterminer les causes techniques de l'accident.

Notre expertise s'appuie sur les informations relatives à l'historique, aux circonstances et aux photos et autres données de l'accident que nous ont transmises verbalement ou par courriel les représentants de la CNESST de Baie-Comeau.

Le mandat consiste donc :

- À vérifier l'état et l'intégrité du pneu ayant déjanté.
- À vérifier l'état, la géométrie et l'intégrité physique de la jante.
- À déterminer le cas échéant, la diminution des capacités mécaniques ainsi que ses causes.
- À déterminer dans quelle mesure l'incident de la veille de l'accident (surchauffe du tambour de freins et de l'incendie du pneu monté sur la jante) a pu contribuer à l'accident en lien avec la remise en service de la jante.
- À déterminer les causes de l'expulsion violente de la jante qui a frappé mortellement le travailleur.

Ainsi, afin de réaliser cette expertise, la CNESST nous a remis les éléments suivants impliqués dans l'événement :

- La jante de marque Alcoa 22.5x12.25 pouces dont le numéro de pièce est 823651.
- Le pneu ayant déjanté. Un pneu rechapé de marque Michelin modèle XZY3, dimension : 385/65R22.5 comportant l'identification DOT : FV WB CEA X 3415.

Dans le cadre de notre expertise, nous avons effectué des recherches dans la littérature scientifique et technique, de même que dans la vaste documentation technique et commerciale de fabricants et d'associations de fabricants de jantes et de pneus.

Nous avons donc procédé à différentes analyses macroscopiques, aux essais de dureté et aux mesures dimensionnelles de la jante. Nous avons également supervisé et contrôlé la réalisation des radiographies Rx sur le pneu.

Ce rapport d'expertise présente donc les principaux constats techniques, analyses et résultats que nous avons obtenus de même que les conclusions relatives aux circonstances de l'accident reliées aux actions effectuées par le travailleur.

2. EXAMEN DES INFORMATIONS, DU CONTEXTE ET DU FIL DES ÉVÉNEMENTS AYANT CONDUIT À L'ACCIDENT.

2.1 Déroulement des événements jusqu'au moment de l'accident

La veille de l'accident, un camion semi-remorque équipé de trois essieux et d'un système comportant un essieu relevable positionné proche du centre de la remorque Figure 1 transportait un chargement de bois en billes en provenance d'un chantier forestier. D'après les informations obtenues, les pentes et les nombreuses courbes devaient imposer des freinages fréquents.

À un moment donné, le chauffeur a dû éteindre un incendie sur le pneu gauche de l'essieu relevable. L'incendie a pu être éteint avec un extincteur portatif

Le lendemain, la jante a été retirée de la remorque Figure 2 et il s'est avéré qu'une défectuosité mécanique du système de freinage a provoqué le blocage partiel (maintien en position actionnée des sabots de freins) de la roue gauche. Au garage, un nouveau pneu est installé sur cette même jante et doit être gonflé. L'accident se produit lors du gonflage.



Figure 1. Photo du camion semi-remorque (Source : CNESST)



Figure 2. Essieu relevable gauche (Source : CNESST)

2.2 Remarques sur les phénomènes ayant conduit à l'incendie

En nous basant sur les informations que nous a transmises la CNESST, nous savons qu'une défaillance du système de freinage a provoqué un blocage partiel des freins de la roue gauche de l'essieu relevable de la remorque. Dans ces cas de freinage soutenu sur une longue distance, la friction des plaquettes de frein sur le tambour de frein produit une chaleur intense qui se propage à la jante et au pneu par conduction et par convection. Plusieurs réactions chimiques se produisent dans le caoutchouc du pneu. La dynamique et la cascade de ces réactions dépendent de l'intensité de la chaleur et de la température atteinte^A. Les réactions chimiques de pyrolyse se situent entre 180°C et 310°C alors que la combustion se déroule en 4 étapes entre 200°C et 400°C. Il n'est cependant pas exclu qu'un début de pyrolyse se soit produit avant l'inflammation.

Dans le cas présent, l'accès aux restes de la carcasse du pneu incendié ni à la jante en l'état après l'incendie n'a pas été possible. Les informations disponibles ne permettent pas de préciser la séquence, la durée, ni l'ampleur des réactions chimiques et thermiques.

2.3 Remarques importantes sur la remise en circulation d'une jante ayant subi une exposition à la chaleur intense.

Il a été décidé de nettoyer et de réutiliser la jante malgré la présence de signes évidents de changement d'aspect de la jante (voir Les observations visibles sur l'extérieur de la jante à la section 3.2.1 de ce rapport). Le risque important de perte des caractéristiques dimensionnelles des jantes d'aluminium ayant été exposées à une chaleur intense comme l'incendie d'un pneu ou le blocage partiel des freins est très bien connu et les fabricants font de nombreuses mises en garde^B. Alcoa avertit l'utilisateur du danger et de l'importance d'inspecter la jante, si visuellement on remarque un changement d'aspect (couleur et finition) d'une jante ayant subi une chaleur intense. Alcoa prescrit effectivement dans son manuel que dans cette situation la jante doit être retirée de manière permanente de l'exploitation^C. À la section 4.1 de notre rapport, nos résultats permettent de démontrer scientifiquement pourquoi cette directive d'Alcoa doit-être appliquée rigoureusement.

^A Plusieurs études, rapports d'expertise et autres documents techniques ont décrit ces phénomènes :

- « Exploring the chemical aspects of truck tire blowouts and explosions » P.I. Dolez et al. Safety Science 46 (2008) 1334-1344
- « Étude exploratoire sur les phénomènes d'éclatement et d'explosion de pneus de camions lourds » Rapport # R-479, IRSST 2006
- « Rapport d'enquête d'accident mortel 2 avril 2004 », CSST Rapport # RAP0253028

^B Nous présentons à la partie 6 de notre rapport, les textes pertinents tirés du « Service Manual for Alcoa Wheels », Jan 2017.

^C Voir: Avertissement pour jante exposée à la chaleur Alcoa « Heat damage » Section 3-3, p. 6 et : Avertissement déformation jante exposée à la chaleur Alcoa Section 3-4 Dimension, Heat Damage and other checks p. 7 du manuel d'Alcoa

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

Nous n'avons pas d'information précise sur la méthode ou les outils utilisés par le travailleur pour réaliser le montage du pneu sur la jante. Dans ce contexte, nous avons jugé nécessaire de procéder à des radiographies Rx du pneu pour vérifier qu'il n'a pas de bris internes susceptibles d'avoir contribué au déjantage, sachant que l'utilisation de méthodes ou d'outils inappropriés peut entraîner des dommages internes au pneu.

3. EXAMEN DES PIÈCES (PNEU ET JANTE DE L'ACCIDENT)

Un premier examen réalisé par les spécialistes de la CNESST a révélé que la cause de l'accident était le déjantage. Sous l'action réactive de l'échappement de l'air sous haute-pression de l'assemblage pneu-jante, la jante a été propulsée avec une grande énergie en blessant mortellement le travailleur à proximité.

Le déjantage est une séparation partielle ou totale non désirée des deux composantes ou sous-composantes (jante multipièces) constituant la roue, dans notre cas la jante et le pneu. La cause peut être soit singulière, c'est-à-dire soit le pneu ou la jante, ou combinée soit le pneu et la jante.

Par conséquent, nous avons donc inspecté tous les éléments ayant pu favoriser le passage du talon de pneu (renforcé intérieurement par la tringle^D) par-dessus le(s) rebord(s) de la jante.

Nous avons choisi le laboratoire d'analyse Mequaltech avec lequel nous avons déjà collaboré pour des examens spécifiques non destructifs. La jante et le pneu impliqués dans l'accident ont donc été envoyés chez Mequaltech, où le 20 novembre 2018 nous avons supervisé et contrôlé la prise des radiographies du pneu ainsi que les tests de dureté sur la jante.

Subséquentement, les pièces ont été transportées au laboratoire LRFV (Laboratoire de Recherche en Fabrication Virtuelle) de Polytechnique Montréal afin de procéder aux examens visuels et aux mesurages de la jante.

Nous présentons donc dans cette section du rapport, les données obtenues et les résultats des différents examens.

3.1 Examen du pneu

3.1.1 Description du pneu

Marque du pneu : Michelin

Modèle : XZY3

Dimensions : 385/65R22.5

Identification DOT : FV WB CEA X 3415

Identification supplémentaire :

Sur le flanc : RHE04923E

Sur la bande de roulement rechapée : OLIVER WBR II

Selon les marques inscrites sur le pneu, la carcasse a été fabriquée en Allemagne la 34^e semaine de 2015. Le pneu a été rechapé.

^D Voir plus bas la section 3.1.1 Description du pneu

Afin de s'assurer d'une utilisation appropriée de la terminologie nous présentons brièvement sur la Figure 3 les principaux éléments constituant du pneu Michelin XZY3 pour camion poids lourd.

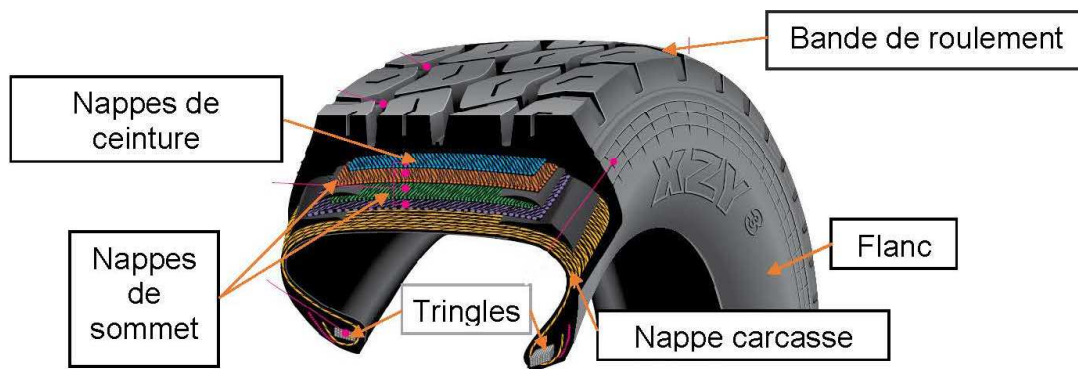


Figure 3 Construction type du pneu Michelin XZY3 (Michelin North America Inc. 2018)

3.1.2 Examen visuel du pneu

À l'examen, le pneu ne porte pas de traces visibles d'endommagement de la carcasse et la bande de roulement est neuve (pneu nouvellement rechapé). Les talons du pneu semblent en très bon état.

L'examen visuel extérieur ne permet pas de conclure sur l'intégrité des tringles qui constituent des composantes internes majeures du pneu. Elles ont la mission de fournir la résistance nécessaire pour garder le pneu gonflé en place par rapport à la jante.

3.1.3 Radiographie Rx du pneu

Nous avons constaté la présence de plusieurs marques sur la jante. Nous avons donc jugé nécessaire de procéder à des radiographies Rx du pneu afin de visualiser l'état de chaque tringle du pneu. À cette fin, chaque face du pneu a été divisée en plusieurs secteurs (voir Figure 4). Les deux tringles du pneu ont donc été radiographiées sur les deux côtés du pneu.

10



Figure 4. Photo des 2 faces du pneu.

La description de la procédure et le schéma du montage pour les radiographies de même que les photos des radiographies de tous les secteurs radiographiés sont présentés à l'annexe Annexe # 1 - Informations complémentaires sur les radiographies du pneu.

La Figure 5 montre la radiographie de la tringle de la face 1 pour le secteur situé entre les repères 1 et 2. On peut y voir le début du premier enroulement des brins d'acier qui constituent la tringle. L'analyse des radiographies montre que la tringle ne porte pas de signes visibles d'endommagement.

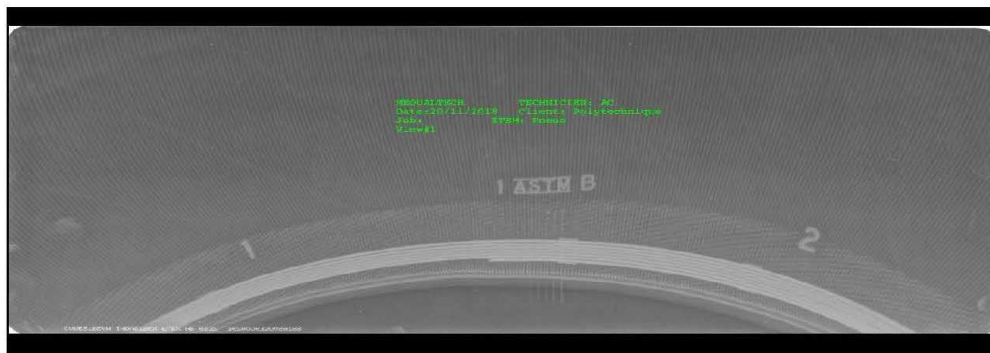


Figure 5. Exemple Rx de la tringle du pneu sur la face 1 pour le secteur 1-2.
On remarque l'enroulement intact ainsi que son début.

3.2 Examen de la jante

Les marques gravées sur la surface intérieure de la jante permettent d'identifier les caractéristiques suivantes^F :

- Marque : Alcoa
- Pays de fabrication : USA
- Type de jante : Roue forgée
- Numéro de pièce : 823651
- Date de fabrication : 2008-02-26
- Dimensions : 22.5 "X 12.25" – 15° Drop Center
- Charge nominale : 11 400 Lb
- Pression de gonflage maximale : 130 psi

Les dimensions de la jante et du pneu sont conformes aux spécifications d'Alcoa et de Michelin pour la compatibilité de l'assemblage de la roue.

Nous avons soumis la jante à trois types d'examen :

- 1- Examen visuel de la jante.
- 2- Évaluation de la dureté de la jante.
- 3- Examen métrologique de la jante.

Dans un premier temps nous présentons les observations générales visibles à l'œil comme les bosses, les encoches, les variations de coloration, les déformations importantes, etc.

Dans un deuxième temps, nous décrivons la méthode et la procédure utilisées pour l'évaluation de la dureté de la jante. Les résultats présentés à la section 3.2.2 sont utilisés pour déterminer l'importance de la perte des propriétés mécaniques de la jante - section 4.1.

Finalement, nous avons procédé au mesurage des paramètres critiques de la jante. La méthode, l'équipement et les résultats sont présentés en détail à la section 3.2.3. La corrélation de ces résultats de métrologie combinés aux données de dureté et aux données d'exposition à la chaleur est présentée à la section 4.3

3.2.1 Les observations visibles sur l'extérieur de la jante

Une première observation importante susceptible de soulever un sérieux doute sur l'intégrité de la jante s'est révélée. Malgré que la jante ait été préalablement nettoyée avant le montage du pneu, on observe que la jante porte des signes de coloration (noircissement) - Figure 6 - résultant de l'incendie qu'elle a subie.

^F Les détails de la nomenclature, des codes et notes explicatives sont présentés à l'Annexe 2



Figure 6. Noircissement de la jante

Nous remarquons également à plusieurs endroits des déformations locales et rayures dues à l'utilisation d'objets tranchants ou pointus - Figure 7. Toutefois il n'est pas possible de déterminer ou de préciser quelles marques ont été produites lors de l'évènement. Cependant, compte tenu du fait que le principal impact s'est produit lorsque la jante a frappé directement le travailleur, on peut affirmer que la majorité des marques sont antérieures à l'évènement.



Figure 7. Déformation locale et rayure sur la surface d'installation du pneu

En se plaçant convenablement, il a été possible d'observer une macro-déformation de la jante Figure 8 dans la zone autour de 0° (zone définie par la valve). L'examen métrologique subséquent a permis de corroborer cette observation.



Figure 8. Aplatissement de la jante dans la zone près de la valve du côté intérieur

3.2.2 Mesures de la dureté sur différents points de la jante

Selon le déroulement des événements, la roue de la remorque a subi un blocage partiel de freins et un incendie. Étant donné le matériau de construction de la jante, soit l'alliage d'aluminium 6061-T6 et les températures très élevées, une perte de caractéristiques mécaniques est vraisemblable et justifie l'intérêt porté à la dureté de la jante. En effet dans l'éventualité d'un changement de la structure du matériau et implicitement de propriétés mécaniques, la dureté représente un indicateur important.

La dureté a été mesurée par la technique de l'impédance transsonique en utilisant un appareil portable UCI Hardness Tester alphaDUR mini de marque BAQ. Les mesures ont été réalisées conformément à la norme ASTM A1038-05 (ASTM International 2005). L'appareil a été calibré avec un bloc de référence 81HV du même matériau que la jante. La précision de mesure est de $\pm 2\%$.

Afin de statuer sur les changements éventuels des propriétés mécaniques dans différentes zones nous avons procédé à une prise de mesure de la dureté dans plusieurs zones de la jante situées à chaque 120° sur les diamètres d'assise du talon du pneu du côté extérieur (disque) et du côté intérieur Figure 9. La valeur obtenue pour chaque zone représente la moyenne de 5 relevés de mesure sur une surface ayant un diamètre d'approximativement de 6.5 cm^2 (1 po^2) pour chaque point de mesure identifié.

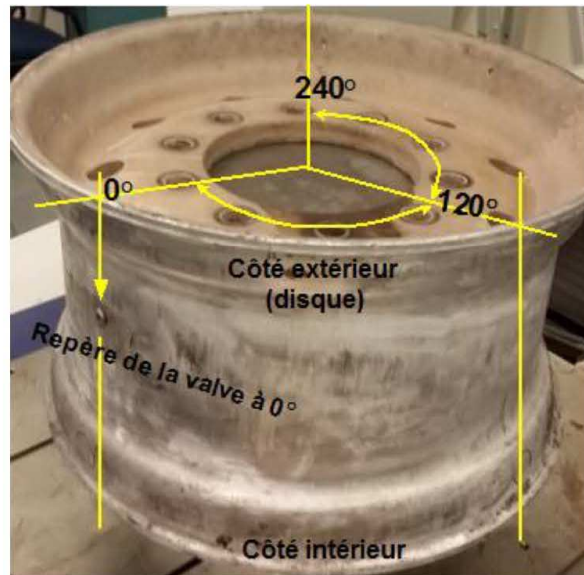


Figure 9. Repères des zones de prise de mesure de dureté. La position de la valve est à 0°

Sur l'assise du côté intérieur la dureté moyenne varie entre 62HB et 72HB (dureté Brinell) et sur l'assise du côté extérieur (disque) entre 88HB et 105HB. Sur la zone intermédiaire au centre de la jante on mesure une dureté moyenne de 85HB.

Le côté intérieur semble avoir été le plus affecté par l'augmentation de la température.

Les relevés des duretés fournis par la compagnie Mequaltech peuvent être consultés à l'annexe 3.

3.2.3 Le mesurage de la jante

Nous présentons ici les descriptions des méthodes de mesures, le montage utilisé et les résultats des mesures radiales. L'analyse détaillée des résultats est présentée à la section 4.2.

La jante a été mesurée en utilisant une machine de marque Mitutoyo LEGEX 9106 - Figure 10. Le palpeur utilisé permet de relever des dimensions avec une précision de 0.01µm.



Figure 10. Jante en position de mesurage sur la machine de mesurage en coordonnées

On a considéré la surface d'appui du moyeu (côté extérieur de la jante) comme plan de référence. Nous représentons les mesures dans un repère polaire, la valve de la jante se trouvant à la position 0° . Des points de mesure ont été prélevés à tous les $7,5^\circ$ en tournant dans le sens antihoraire.

Le côté extérieur (disque) de la jante est placé vers le haut.

Nous avons mesuré des points sur quatre circonférences à des hauteurs différentes : les cercles D1, D2, D3 et D4 – voir Figure 11. Position des points mesurés sur le profil de la jante. D1 et D2 sont les diamètres homologues et se trouvent au milieu des repos de talon, D3 et D4 au bord des repos de talon et près des rebords, respectivement du côté intérieur et extérieur (disque). Ces mesures doivent nous permettre d'estimer à différents endroits les défauts de circularité, l'excentricité et le battement radial par rapport à l'axe de référence. Nous avons également relevé des points de mesure sur les rebords de roue afin de déterminer le battement axial (variation de largeur de la jante le cas échéant).

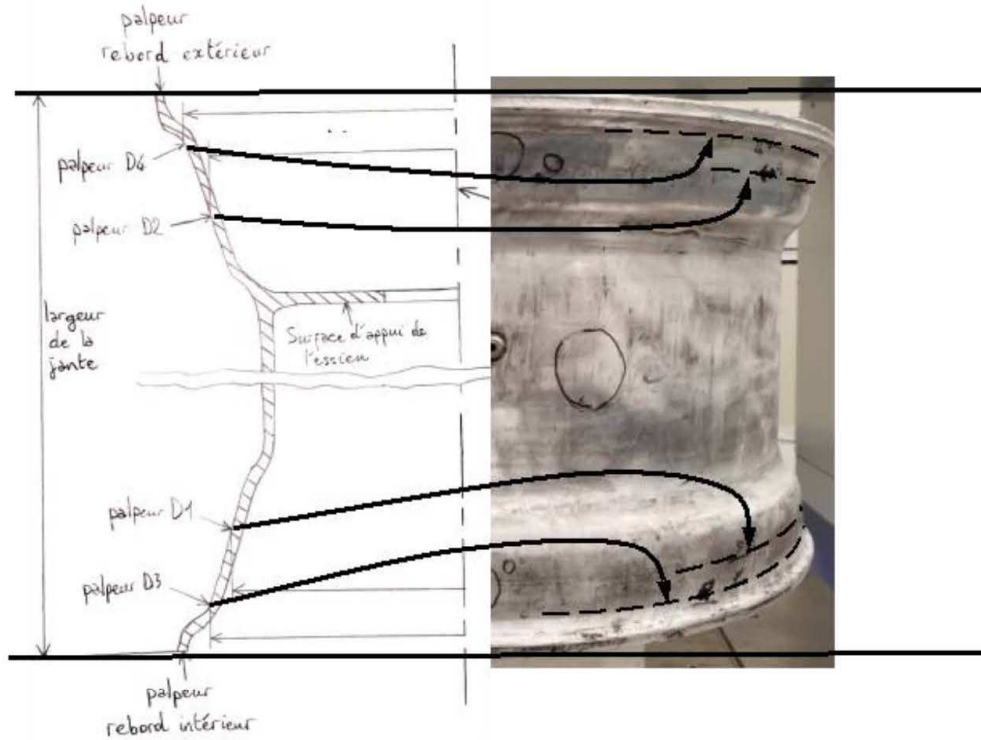


Figure 11. Position des points mesurés sur le profil de la jante

Un premier post-traitement des valeurs de mesure a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau suivant :

	Cercle D1	Cercle D2	Cercle D3	Cercle D4
Défaut de circularité (mm)	2,433	0,182	4,424	0,208
Rayon du cercle approché (mm)	277,059	280,268	280,121	283,834
Centre du cercle approché (mm)	(-3,070;-1,154,)	(0,023;-0,033)	(-6,374;-2,455)	(0,018;-0,037)
Défaut de concentricité (mm)	3,280	0,040	6,831	0,041
Battement radial (mm)	6,832	0,235	13,911	0,255

Tableau 1 : Résultats des analyses de mesures radiales

On constate que les déformations du côté extérieur (disque) de la jante (cercle D2 et D4) sont négligeables par rapport à celles du côté intérieur.

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

Du côté intérieur, très déformé par rapport au côté extérieur (disque), le battement radial est de 6,832 mm pour le cercle D1 et 13,911 mm pour le cercle D3. Il dépasse largement la limite maximum de tolérance de 0,03 pouce (soit 0,762 mm) indiquée par ALCOA. Le manuel d'entretien de roues d'Alcoa (Alcoa Corporation 2017) spécifie que le non-respect de cette valeur impose que la jante soit retirée du service de manière permanente. Le défaut de concentricité est également le plus important du côté intérieur avec un maximum pour le D3 à 6,831mm.

De plus, si on compare les rayons (et implicitement les diamètres) des cercles approchés (cercles approximatés à partir des points de mesure) on s'aperçoit que $R1 < R2$ (277,059 mm < 280,268 mm) et que $R3 < R4$ (280,121 mm < 283,834 mm). Forcément, par extrapolation les diamètres correspondants au niveau de rebords vont respecter la même tendance générale, soit que les diamètres du côté intérieur sont plus faibles que les diamètres du côté extérieur (disque) de la jante. Cette observation prend son importance lorsqu'on considère que deux tests simples recommandés par Alcoa (Alcoa Corporation 2017) soit le roulement de la jante sur surface plane ou l'utilisation d'un ruban à billes permettraient de fournir des indications importantes sur l'intégrité dimensionnelle de la jante.

4. DISCUSSION SUR LES OBSERVATIONS ET LES RÉSULTATS

Nous présentons dans cette section l'analyse des résultats de dureté et de la métrologie effectuée sur la jante. Nous avons étudié les liens entre ces différents types de résultats afin d'établir les corrélations importantes entre l'état des composantes et le déroulement des événements ayant conduit à l'accident.

4.1 Analyse des résultats de dureté de la jante

La jante Alcoa est un produit forgé fabriqué en Aluminium 6061-T6. Les propriétés de ce matériau sont explicitées dans la norme ASTM-B247 (ASTM International 2015).

Il s'agit d'un alliage d'aluminium AlSi7Mg0.3 avec un traitement thermique T6. Ce traitement thermique appelé vieillissement artificiel produit un durcissement structural ce qui permet que le matériau puisse être exploité pour une application telle que les roues forgées. La dureté minimum acceptée est de 80HB (dureté Brinell) et est typiquement aux alentours de 95HB. Ce dernier traitement thermique se fait à une température approximative de 177°C (350F). D'une manière générale, la majorité des codes imposent de ne pas exploiter cet aluminium à des températures au-dessus de 170°C. Le danger majeur est la baisse importante de la limite d'élasticité.

Le côté extérieur semble moins affecté et les duretés sont supérieures aux valeurs acceptables. La différence importante entre le côté intérieur et extérieur (côté disque) pourrait s'expliquer par l'effet de refroidissement dû à l'écoulement de l'air plus important sur la face extérieure de la jante. Le côté intérieur est placé directement autour du tambour de frein surchauffé et surtout dans une zone à faible écoulement d'air. Les résultats de mesure de dureté montrent effectivement que sous l'action de la chaleur sur son côté intérieur la jante a enregistré une baisse de dureté atteignant des valeurs aussi basses que 60 HB. En plus de la dureté, sa résistance sans subir une déformation plastique (limite élastique) est grandement diminuée. Selon le (Military Handbook, U.S. Department of Defense) p.3-275 et considérant la température d'inflammation du pneu, soit à 340°C^F (644F) la limite élastique (241 MPa = 35 ksi) chute à 15%.

La baisse de dureté de la jante par rapport aux valeurs minimales acceptées est donc associée à une baisse certaine des propriétés mécaniques comme la limite d'écoulement (ou limite élastique = contrainte sous laquelle un matériau ne subit pas de déformations permanentes). Nous concluons que dans ce contexte la jante ne correspond plus aux spécifications pour une exploitation sécuritaire sous la charge nominale. Ce qui explique scientifiquement et justifie pourquoi Alcoa prescrit le retrait du service, immédiat et permanent de la jante (voir paragraphe 6.2).

^F La température éclair d'un pneumatique suite à des essais est de 280°C et sa température d'inflammation est de 340°C. (<https://www.lecaoutchouc.com/>)

4.2 Analyse des résultats de métrologie de la jante

La baisse importante des propriétés mécaniques démontrée plus haut en 4.1 explique les modifications plus ou moins significatives de la géométrie et de la morphologie de la jante. Sous l'effet de la charge ou à cause des chocs et des changements de direction du camion la veille de l'accident, les forces et les contraintes infligées à la jante ont dépassées les limites de sa capacité. Ce que l'analyse des mesures radiales et axiales de la jante permet de déterminer en corrélation avec le déroulement des événements survenus jusqu'au retrait de la jante de l'essieu du camion.

4.2.1 Analyse du mesurage radial de la jante

En analysant les résultats du mesurage radial de la jante, nous nous sommes intéressés aux défauts de circularité et de concentricité des différents diamètres sur les deux côtés.

Pour évaluer ces défauts, nous avons utilisé la méthodologie de la Spécification Géométrique de Produits (GPS). La cotation GPS est définie par une série de normes ISO. Nous exploitons ici la norme ISO (ISO 1101:2017(fr) 2017) qui traite du tolérancement géométrique de forme, de position, d'orientation et de battement.

Le défaut de circularité d'un cercle réel est la différence minimale entre les rayons de deux cercles parfaits encadrant le cercle tolérancé. Il est indépendant de toute autre référence. Pour chaque cercle D1 à D4, nous avons déterminé un cercle approché par la méthode des moindres carrés. Nous avons déterminé le défaut de concentricité en calculant la distance entre le centre de ce cercle et l'axe de référence de la jante. Enfin, nous avons calculé la distance entre l'axe de référence et chaque point mesuré puis obtenu le battement radial par la différence entre le maximum et le minimum de ces distances.

Pour les cercles D1 Figure 12 et D3 Figure 13 (côté intérieur), on observe un écrasement de la jante produisant une ovalisation et une excentricité dans la direction 200°. Les deux cercles approchés ainsi définis du côté intérieur ne sont plus limités par leurs cercles de tolérancement (cercles continus concentriques dessinés en vert).

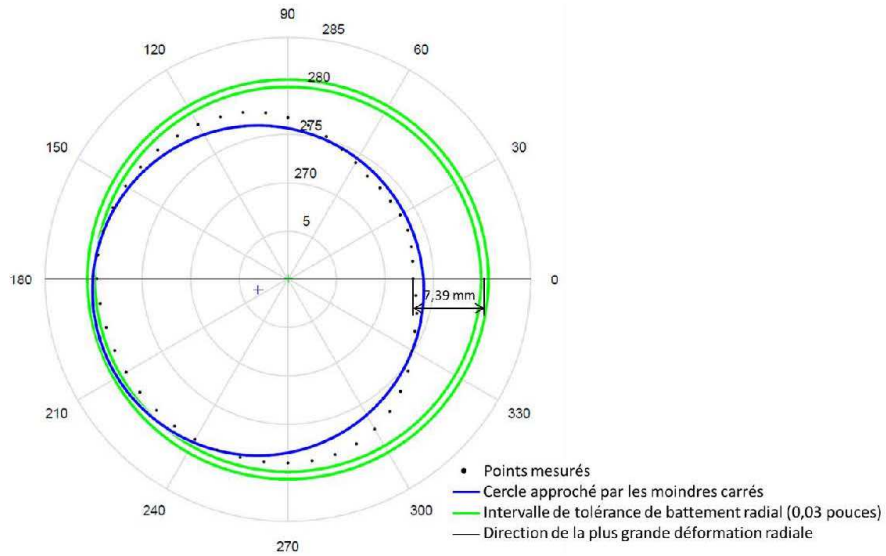


Figure 12. Mesures du cercle D1

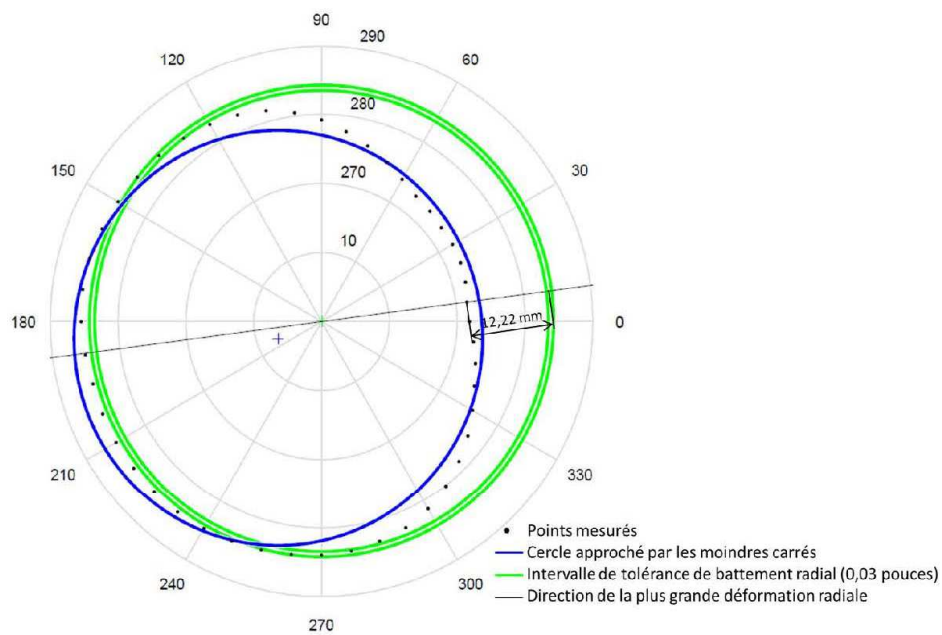


Figure 13. Mesure du cercle D3

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

Les deux cercles de mesures D2 - Figure 14 et D4 - Figure 15 près du côté extérieur (disque) respectent la tolérance de mise en service ou d'utilisation de 0.762mm (0.03po) du manufacturier. Les cercles approchés reconstitués à partir des points de mesure se trouvent entre les contours verts définissant la tolérance.

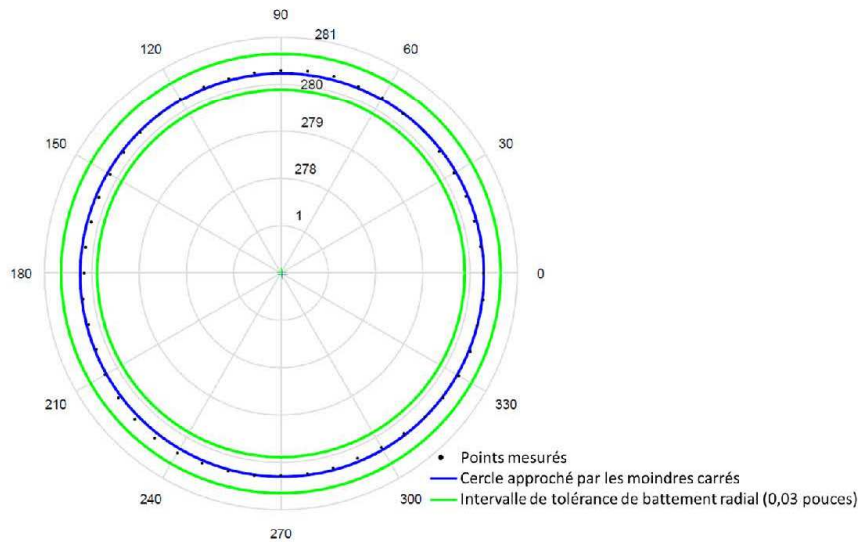


Figure 14. Mesures du cercle D2.

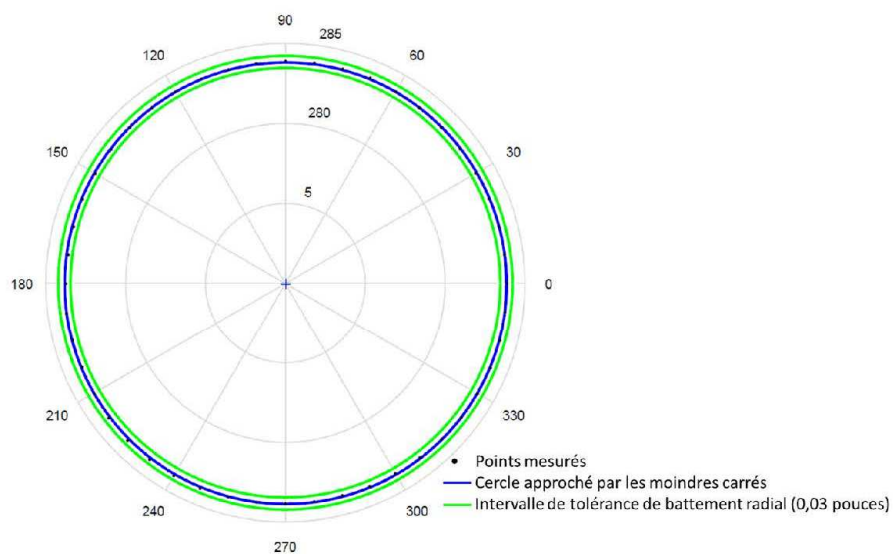


Figure 15. Mesure du cercle D4

Le plus grand écart relevé entre les points sur les circonférences des D1 et D2 (diamètres homologues sur les deux côtés de la jante) est de 7,39 mm, à la position 0°. Pour les cercles D3 et D4 (diamètres homologues les plus près des rebords), cet écart est de 12,22 mm, à la position 7,5°. En cumulant les observations de cette analyse, nous pouvons conclure qu'une déformation importante se trouve autour de la position de 0° sur le côté intérieur (diamètres D1 et D3). Ceci confirme l'examen visuel présenté dans 3.2.1 et notamment la Figure 8 qui a pu révéler cette déformation.

Si nous visualisons la position relative des deux diamètres qui accueilleront le talon du pneu dans sa position finale, soit le D3 et le D4, nous pouvons remarquer le défaut de concentricité de ces deux diamètres – Figure 16. Comme conséquence, ce défaut produit un étirement du pneu dans les plans définis par les deux flancs.

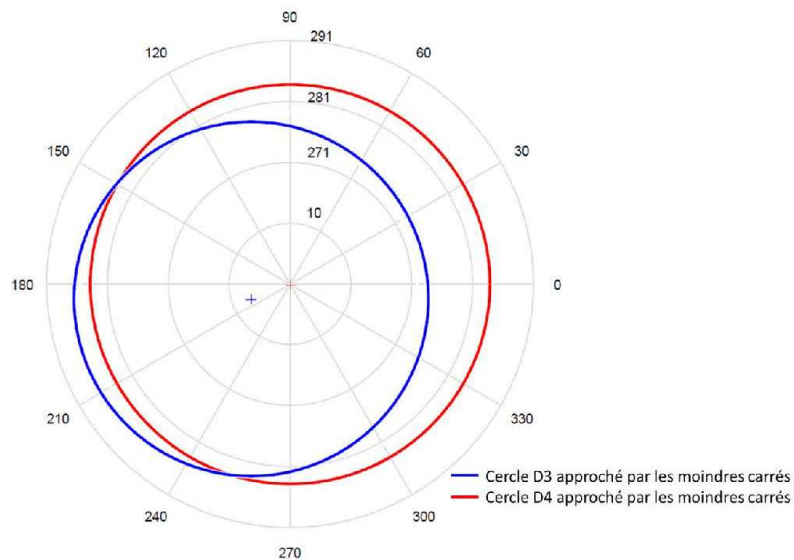


Figure 16. Représentation du défaut de concentricité des cercles D3 et D4

4.2.2 Analyse du mesurage axial de la jante

Les mesures de la largeur hors-tout de la jante en s'appuyant sur les rebords intérieur et extérieur (disque) sont représentées dans la Figure 17. En se référant à la plus petite largeur hors-tout, les valeurs en ordonnées représentent la variation de largeur de la jante aux différents points de mesure.

La Figure 17 représente l'ensemble de points relevés sur la circonférence développée des deux rebords. La position des palpeurs est celle spécifiée dans la Figure 11.

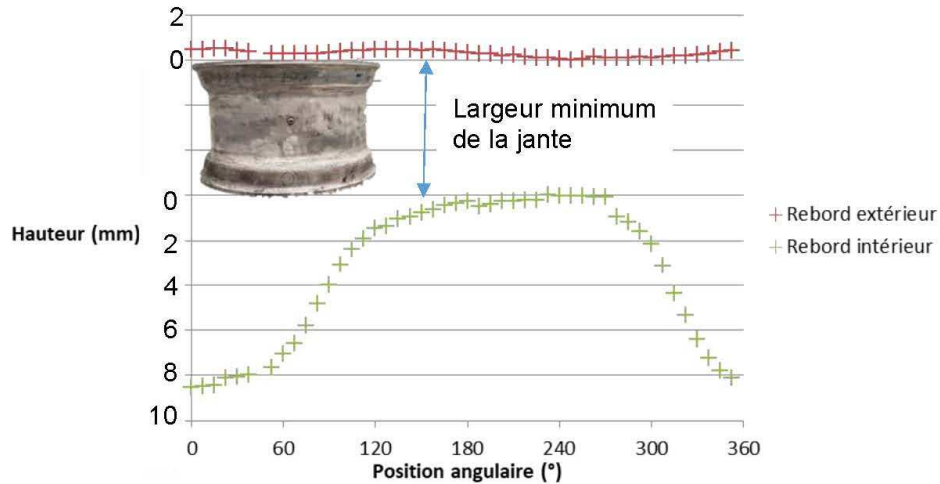


Figure 17. Représentation des battements axiaux en fonction de la position angulaire

On observe un élargissement marqué de la jante entre 0° et 60 et entre 300 et 360°. En vertu de la conservation du volume, on devrait trouver une déformation selon une autre direction/plan. Celle-ci nous la retrouvons dans le plan radial des mesures pour les deux diamètres D1 et D3 entre 300° et 60° - Figure 12 et Figure 13.

La validation visuelle de cette analyse des données numériques a pu être réalisée en utilisant la jauge d'usure d'Alcoa qui placée d'une manière appropriée contre une équerre fait apparaître la déformation du rebord dans la zone 0° et plus précisément sa rotation vers l'intérieur (vers l'axe de la jante). L'angle formé entre la jauge et l'équerre à 0° s'ouvre vers le bas, tandis qu'à 180° (conforme) il s'ouvre vers le haut - Figure 18.

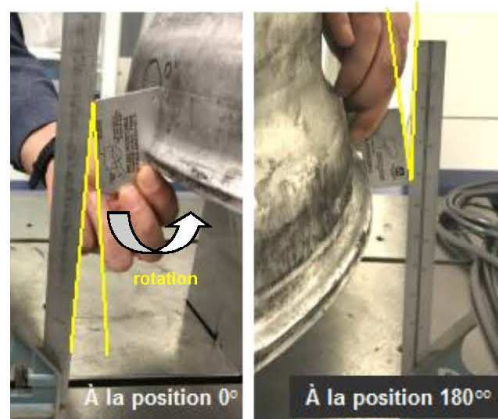


Figure 18. Visualisation de la déformation du rebord de la jante avec la jauge placée à 0° et à 180°

Nous concluons que la déformation de la jante est très importante et qu'elle est présente selon plusieurs plans. De plus, les deux diamètres d'installation du talon du pneu, extérieur (disque) et intérieur, ne sont pas concentriques.

Ces déformations plastiques de la jante vont imposer au pneu des étirements locaux et globaux, et ce dès les premiers instants de son installation. Dans cette situation la tâche d'asseoir les talons du pneu peut être significativement plus difficile à être exécutée voire impossible en respectant les pressions recommandées d'au plus 5 psi tel que spécifiées par Michelin (Voir paragraphe 7 textes tirés de (Michelin Truck Tire Data Book 2018)).

4.3 Corrélations entre le déroulement des évènements et l'état des composantes de la roue.

L'ensemble de roue constitué par la jante et le pneu a subi un blocage partiel des freins ce qui a augmenté la température au point que le pneu a pris feu. Comme mentionné plus haut, la température d'inflammation du caoutchouc étant de 340°C on estime donc que la jante a été exposée à des températures mêmes supérieures à ces valeurs. Ces températures sont aussi supérieures au traitement thermique permettant d'acquérir la dureté et la résistance requise pour la jante, comme spécifié dans la section 4.1.

Par conséquent, le matériau de la jante a subi une baisse importante de ses propriétés mécaniques, soit sa dureté et sa résistance aux déformations. Sous la charge de la remorque et à cause des chocs enregistrés lors du déplacement du camion, la jante s'est déformée d'une manière très importante du côté où sa rigidité est la plus faible, soit son côté intérieur (Michel 2010). Ceci est confirmé par l'analyse des résultats de métrologie présentée en 4.2.

Après son nettoyage, la jante ainsi déformée a été toutefois utilisée pour constituer un nouvel assemblage avec un pneu rechapé.

Après la mise en place du pneu sur la jante, le travailleur a procédé au gonflage du pneu. Le pneu cependant se trouvait forcément dans une configuration étirée selon les dimensions en dehors des tolérances de circularité et d'excentricité. Celle-ci engendre des pressions locales de contact entre le talon et les épaulements de montage de la jante non uniformes. Le glissement en place (diamètre d'accueil D3 et D4 – voir les sections 3.2.3 et 4.2) du talon du pneu par l'application d'une pression de gonflage est ainsi rendue difficile, voire impossible à cause d'un frottement augmenté dans certaines zones.

La largeur de la jante étant affectée également (augmentation de 9 mm approximativement), le positionnement du pneu peut paraître insatisfaisant sur toute la largeur de la jante. Ce qui est d'autant plus difficile qu'à cette phase, le pneu sur ses diamètres intérieurs est doublement déformé, soit étiré par le défaut d'excentricité entre D3 et D4 et par le défaut de circularité du D3. Une augmentation de la pression vers la pression nominale ou simplement une tentative de combler le manque à gagner en largeur a pu dépasser la force de frottement statique de contact instantanée entre le talon et la jante. D'une manière soudaine, le talon alors poussé par la pression se déplace en direction axiale. Le frottement dynamique n'est plus en mesure de retenir ce déplacement

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

et le rebord trop déformé de la jante ne constitue pas un obstacle axial suffisamment imposant. Par conséquent, le talon dans son mouvement très rapide passe par-dessus le rebord du côté intérieur en expulsant le volume d'air sous haute pression créant ainsi une propulsion de l'ensemble. Comme le travailleur se trouve du côté extérieur (disque), il se situe également dans le sens de la projection.

5. CONCLUSIONS

5.1 L'état et l'intégrité du pneu

L'examen du pneu et les radiographies Rx du pneu permettent de conclure que le pneu a conservé son intégrité structurale et qu'il est en très bon état.

5.2 L'état, la géométrie et l'intégrité des propriétés du matériau de la jante

L'examen de l'état extérieur et l'analyse des résultats de métrologie nous permettent d'affirmer que la jante avait subi des déformations importantes et qu'elle n'était pas en état approprié de remise en service.

L'analyse des mesures de dureté nous permet de conclure que la perte d'intégrité des propriétés physiques du matériau de la jante ainsi que de ses propriétés mécaniques est très importante et prépondérante dans les causes de l'accident.

5.3 Causes de la diminution des capacités mécaniques et des déformations de la jante

Le blocage partiel des freins de la roue a généré une chaleur suffisante pour provoquer l'incendie du pneu. L'analyse des mesures de dureté corrélée aux données scientifiques sur l'effet de l'exposition à des températures élevées du matériau de la jante confirme que c'est la chaleur excessive qui a altéré ses propriétés mécaniques. La roue installée sur la remorque a subi des charges dynamiques qui ont dépassé les limites de sa résistance élastique altérée par la chaleur. Ces sollicitations ont entraîné de déformations de la jante et la perte de son intégrité géométrique.

5.4 Le déjantage et la propulsion violente de la jante

Nous concluons que le montage adéquat d'un pneu compatible, comme dans le cas présent, avec les dimensions nominales de cette jante, n'était plus possible. Les déformations plastiques de la jante imposent au pneu, lors du montage, des étirements locaux et globaux qui augmentent le frottement pendant le glissement en place de l'assise du talon du pneu, et ce dès les premiers instants de son installation. Par conséquent, sous forte pression, la séparation entre le pneu et la jante se produit, l'air s'échappe violemment et propulse l'ensemble avec une grande énergie.

5.5 Conclusions générales

En considérant l'examen dimensionnel de la jante ainsi que les documents publiés et distribués par le fabricant ALCOA, nous pouvons conclure que le déjantage a été rendu possible par la déformation importante de la jante. Cette déformation, provoquée par la charge sur la remorque et la chaleur intense, était prévisible.


L'interdiction d'ALCOA d'utiliser une jante en aluminium ayant subi un incendie a été techniquement justifiée par les résultats de notre expertise. Cela représente un danger et un risque réel de blessures graves ou mortelles.

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

6. **TEXTES TIRÉS DU « SERVICE MANUAL FOR ALCOA WHEELS » (ALCOA CORPORATION 2017)**


6.1 **Avertissement de sécurité Alcoa Section 1-1 page 2-3**

1 Safety




WARNING An inflated tire and wheel assembly contains enough air pressure to cause an explosive separation.

Unsafe handling or failure to follow approved mounting and demounting procedures can lead to serious injury or death. Study, understand and follow the procedures contained in this manual to ensure your safety.

 **WARNING**

TIRE AND RIM SERVICING CAN BE DANGEROUS AND MUST ONLY BE PERFORMED BY TRAINED PERSONNEL USING PROPER PROCEDURES AND TOOLS.

FAILURE TO READ AND COMPLY WITH ALL OF THESE PROCEDURES MAY RESULT IN SERIOUS INJURY OR DEATH TO YOU AND OTHERS.

 **WARNING**

Safety is serious business. All tire shops must know and follow OSHA work regulations... no matter how small the shop. Under U.S. federal law any individual handling tire/wheel assemblies must be trained in OSHA regulations as mentioned in section 6 prior to servicing/handling truck tire and wheel assembly.

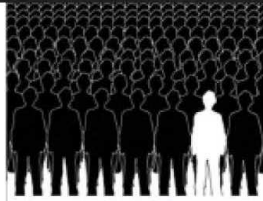
Safety is everybody's business. Do not attempt to service any wheel assembly without proper training.

Proper equipment is important. Be sure you have the recommended tools and equipment on hand and use them according to manufacturer's instructions.

NEVER inflate beyond 40 psi to seat any tire beads.

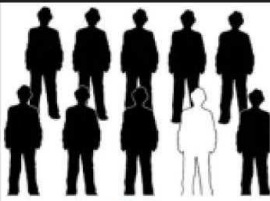
NEVER stand, lean, or reach over the tire rim/wheel assembly in the restraining device during inflation. Even if a tire is in a restraining device, inflating beyond 40 psi when trying to seat the beads is a **DANGEROUS PRACTICE** that may break a tire bead or the rim/wheel with explosive force and possibly result in serious injury or death.

ALWAYS comply with the procedures in the tire/wheel manufacturer's catalogs, instruction manuals or other industry and government instructional materials.



1 in 1000
TYPICAL INDUSTRY

Statistics show that in most industries, at worst only one in 1000 serious accidents results in a fatality, but when the accident involves tire and wheels, statistically one in every 10 serious accidents is a fatality. That is 100 times more often than in most other industries.




1 in 10
THE SERVICE INDUSTRY

**IF YOU DO NOT KNOW HOW TO USE TIRE SERVICING TOOLS — STOP!
TIRE SERVICING MUST ONLY BE PERFORMED BY TRAINED PERSONNEL.
FAILURE TO FOLLOW PROPER PROCEDURES CAN RESULT IN SERIOUS INJURY OR DEATH.**

6.2 Avertissement pour jante exposée à la chaleur Alcoa « Heat damage » Section 3-3, p. 6

Heat damage Section 3-3, p. 6



WARNING Excessive heat from fire, brake malfunction, wheel bearing failure, tire failure or other sources may weaken the metal and cause the wheel/tire assembly to separate explosively.

Exploding tire/wheel assemblies can cause serious injury or death.


Immediately and permanently remove from service any wheel that has been exposed to excessive heat.

Wheels must be inspected for exposure to excessive heat before being returned to service. A wheel that has been subjected to excessive heat may appear charred or burned, or may appear to be in good condition if it has been cleaned. Do not use any wheel that has been overheated regardless of appearance. Even if a wheel does not appear to be obviously burned, inspect the labels, tire bead, brake drum and high temperature nylon spacer for evidence of charring, melting, blistering or burning. Any wheel run with a flat tire longer than the time necessary to immediately pull off the road should be checked for excessive heat damage.

A wheel may discolor from excessive heat. It can appear a dull grayish color and will not polish to a bright finish as an undamaged Alcoa Wheel would.

6.3 Avertissement déformation jante exposée à la chaleur Alcoa (Alcoa Corporation 2017) Section 3-4 Dimension, Heat Damage and other checks p. 7


Dimension, Heat Damage and other checks



WARNING Wheels that have been subjected to high pressure tire and rim separation or excessive heat damage may no longer have sufficient dimension and contour to retain the tire bead while under pressure.

Exploding tire/wheel assembly can cause serious injury or death.

Immediately and permanently remove from service any wheel that has been exposed to high pressure tire/wheel separation or excessive heat.



WARNING Wheels that have been run flat or have other physical damage may no longer have sufficient dimension and contour to retain the tire bead while under pressure.

Rims that lack proper dimension and contour can have an explosive separation of the tire and rim, causing serious injury or death.

Any wheel that has been in service must be inspected prior to mounting. Follow the procedures for dimensional checks described in this section during each wheel inspection.

7. TEXTES TIRÉS DE (MICHELIN TRUCK TIRE DATA BOOK 2018)

➤ Paragraphe « INFLATION OF TUBELESS TIRES » page 4

1. Lay tire and wheel assembly horizontally and inflate to no more than 5 psi to position the beads on the flanges. OSHA dictates no more than 5 psi outside the cage to seat the beads.

⚠ WARNING

Re-inflation of any type of tire and wheel assembly that has been operated in a run-flat or underinflated condition (less than 80% of normal recommended operating pressure) can result in serious injury or death. The tire may be damaged on the inside and can explode during inflation. The wheel parts may be worn, damaged, or dislodged and can explosively separate.

2. To complete the seating of the beads, place the assembly in an OSHA (Occupational Safety and Health Administration) compliant inflation restraining device (i.e. safety cage) and inflate to 20 psi. Check the assembly carefully for any signs of distortion or irregularities from run-flat. If run-flat is detected, scrap the tire.
3. If no damage is detected, continue to inflate to the maximum pressure marked on the sidewall. USTMA (U.S. Tire Manufacturers Association) recommends that any tire suspected of having been underinflated and/or overloaded must remain in the safety cage at 20 psi over the maximum pressure marked on the sidewall. Do not exceed the maximum inflation pressure for the wheel. USTMA requires that all steel sidewall tires are inflated without a valve core.

8. ANNEXE # 1 - INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR LES RADIOGRAPHIES DU PNEU

8.1 Introduction

Nous avons supervisé et contrôlé la réalisation des radiographies X sur les tringles du pneu impliqué dans l'accident de déjantage du 12 septembre 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau.

Pour réaliser les radiographies X le Groupe Mequaltech, Montréal a été choisi étant donné nos collaborations antérieures sur des dossiers similaires ainsi que la disponibilité de la technologie nécessaire et l'accréditation selon les normes ASTM en vigueur.

8.2 Description du montage pour la prise des radiographies

En tenant compte des dimensions du faisceau Rx et des plaques exposées, la circonférence du pneu est divisée en secteurs. La Photo du pneu face #1 divisée en 9 secteurs, face #2 en 7 secteurs Figure A1-19 montre les 9 secteurs de la face #1 du pneu et les 7 secteurs de la face #2. Après la réalisation de la première série de radiographies sur la face #1, nous avons jugé que le nombre de 7 secteurs pouvait être suffisant.

Le montage est constitué principalement d'une source Rx montée sur un support permettant d'ajuster la distance et l'angle de tir sur la tringle du pneu. Celui-ci est placé à plat au sol. La source est installée au-dessus du pneu Figure A1-20.

Plusieurs radiographies préliminaires ont été nécessaires pour ajuster l'angle du faisceau Rx afin de voir les enroulements des brins d'acier de la tringle Figure A1-21. Les schémas publiés dans les brevets Michelin ont été exploités pour se positionner perpendiculairement sur une des surfaces du bloc constitué par l'enroulement de fils d'acier de la tringle Figure A1-22.

8.3 Photos des radiographies Rx des tringles

8.3.1 Photos des Rx de la face #1 du pneu

Les radiographies de 4 secteurs répartis entre les points de repère 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, sont présentées sur la Figure A1-23.

On peut voir sur le secteur entre les points 1 et 2 le début de l'enroulement des brins d'acier de la tringle. De même on peut identifier la fin de l'enroulement des brins d'acier de la tringle entre les points 3 et 4.

Sur ces mêmes secteurs sont identifiées des brides d'assemblage des brins d'acier. On retrouve ces brides à plusieurs endroits sur la circonférence de la tringle.

Les radiographies de 5 secteurs répartis entre les points de repère 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-0, sont présentées à la Figure A1-23.

L'ensemble des radiographies de la tringle de la face #1 ne présente pas d'anomalie.

8.3.2 Photos des Rx de la face #2 du pneu

Les radiographies de 4 secteurs répartis entre les points de repère 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, sont présentées sur la Figure A1-25 .

Les radiographies de 3 secteurs répartis entre les points de repère 4-5, 5-6, 6-7, sont représentées sur la Figure A1-26 .

Les mêmes observations que celles identifiées sur la face #1 sont présentes et il n'y a pas d'anomalies détectées sur la tringle du côté de la face #2 du pneu.

8.4 État général des 2 tringles du pneu

L'examen des photos numériques basées sur les radiographies X nous permet de conclure que les deux tringles semblent intègres.

Toutefois les conclusions résultant de l'analyse de l'ensemble des radiographies Rx des 2 tringles du pneu sont discutées et présentées dans la section 3.1.3 et de l'ensemble du pneu dans la section 4 du rapport d'expertise.



Figure A1-19. Photo du pneu face #1 divisée en 9 secteurs, face #2 en 7 secteurs



Figure A1-20. Vue de face et vue de dessus du montage pour les Rx du pneu

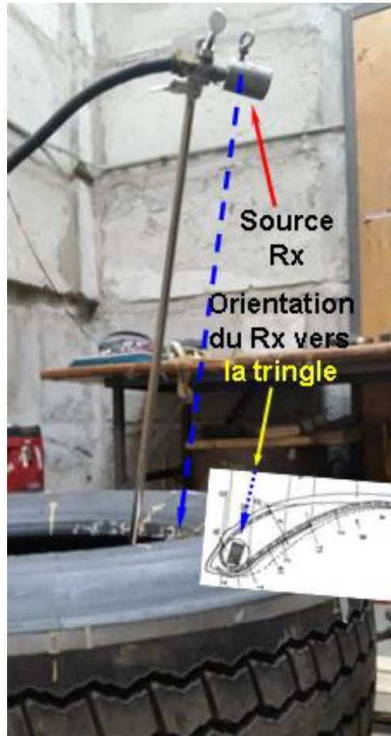


Figure A1-21. Photo de la source et orientation du Rx vers la tringle du pneu

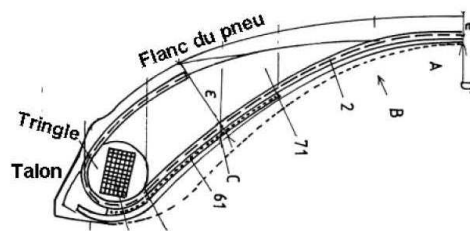


Figure A1-22. Schéma de la localisation de la tringle à l'intérieur du pneu (Auxerre 2004)

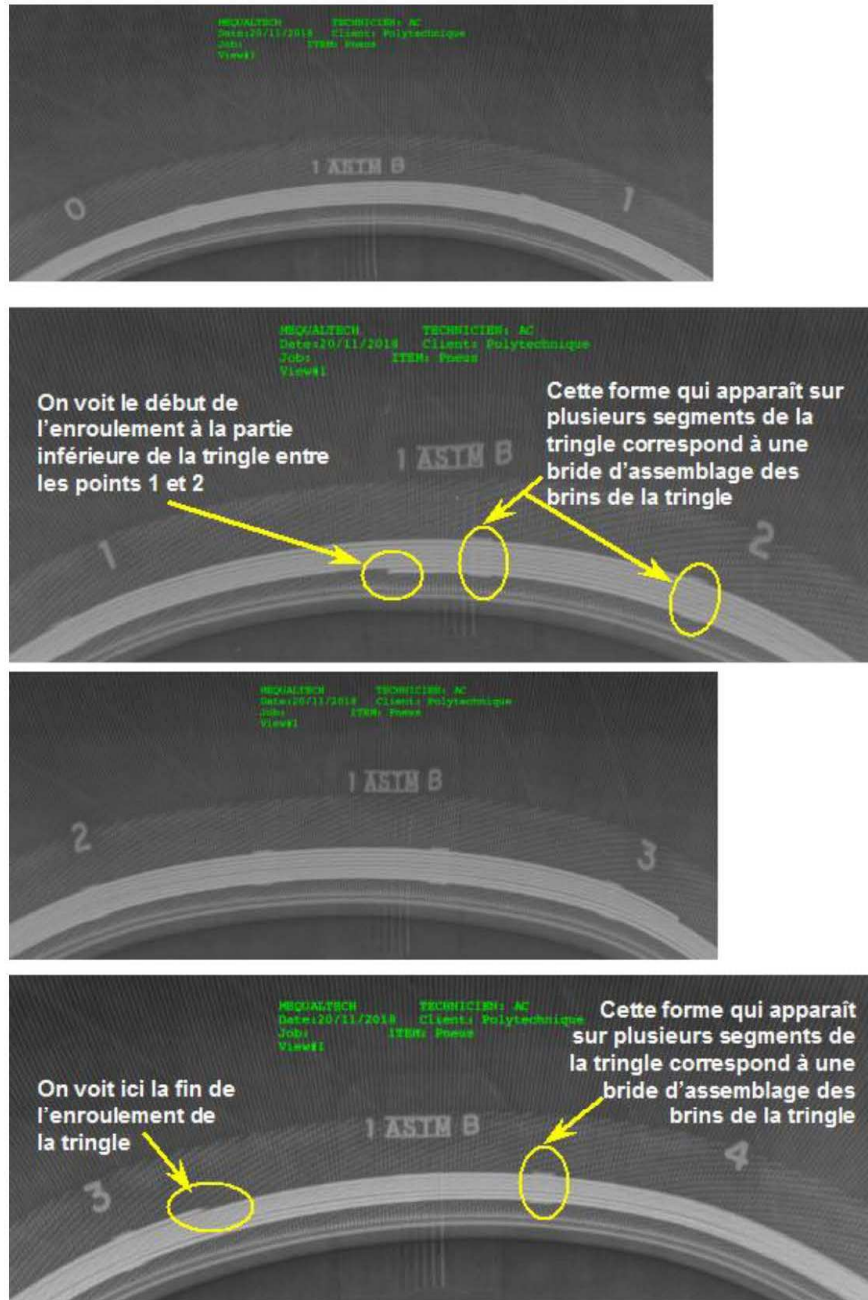


Figure A1-23. Photos Rx 4 secteurs points 0 à 4, tringle Face #1

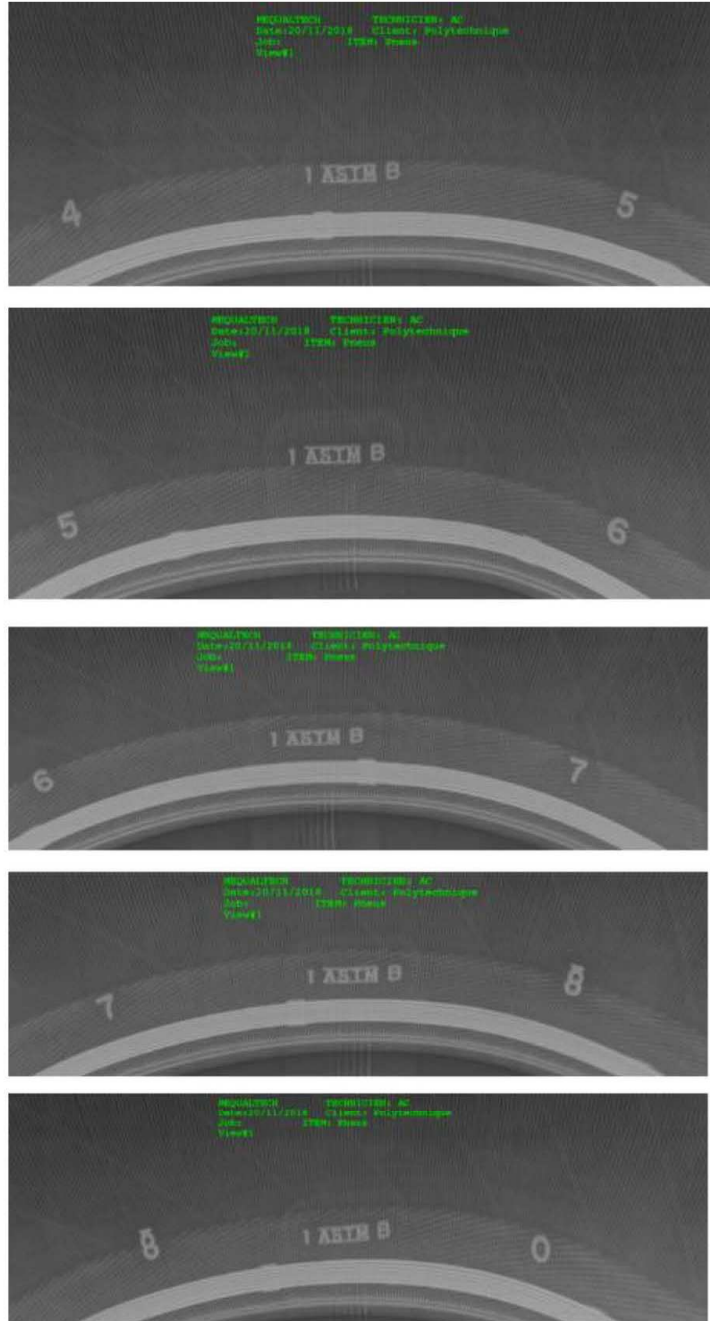


Figure A1-24. Photos Rx 5 secteurs points 4 à 0, tringle Face #1

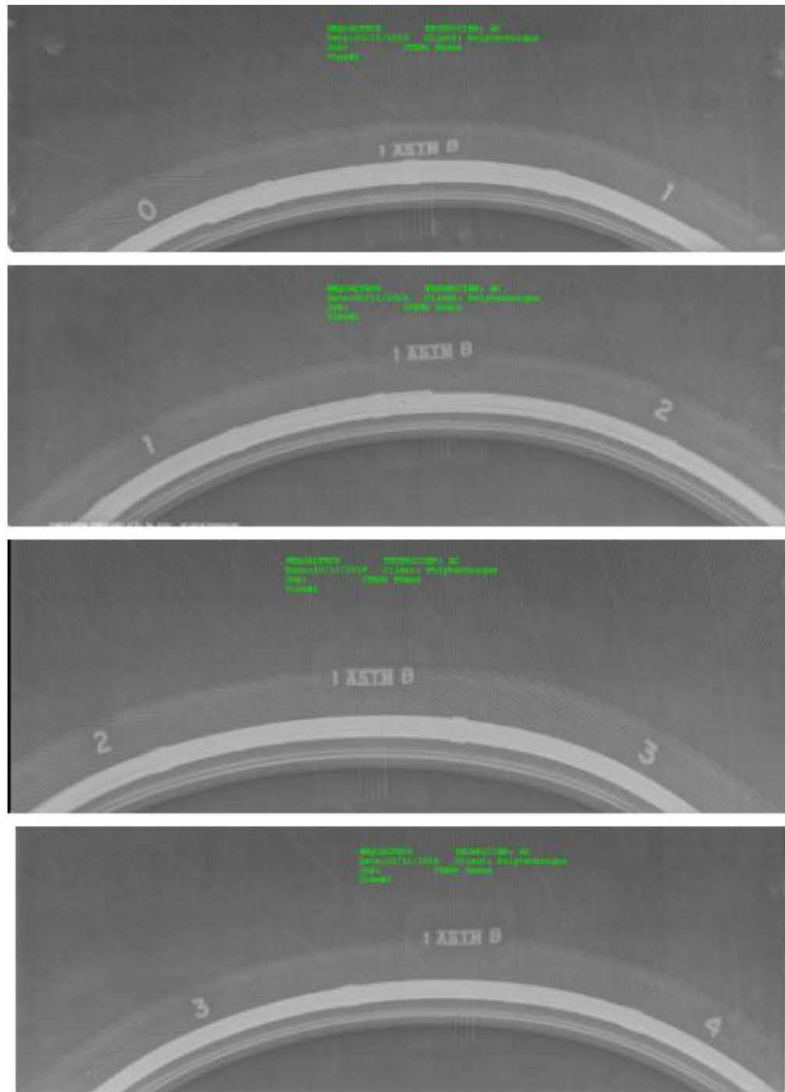


Figure A1-25. Photos Rx 4 secteurs points 0 à 4, tringle face #2

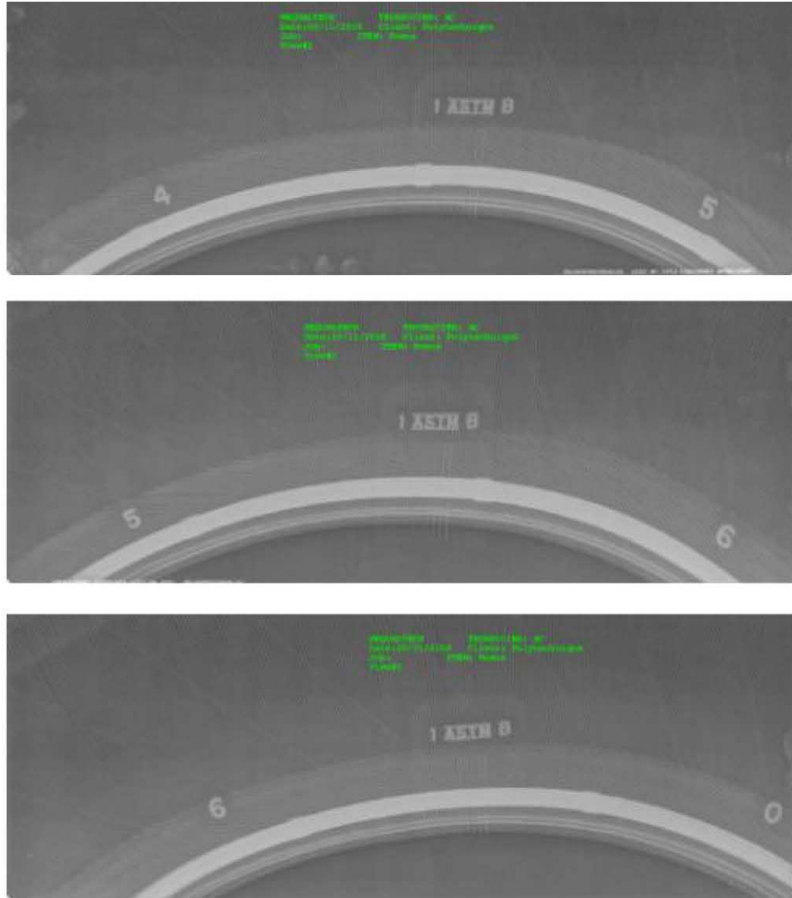


Figure A1-26. Photos Rx 3 secteurs points 4 à 0, tringle face #2

9. **ANNEXE # 2 - INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES À L'IDENTIFICATION DE LA JANTE**

La Figure A2-27 montre le tableau de référence Alcoa utilisé pour identifier les jantes à partir du marquage gravé sur l'extérieur de la jante Figure A2-28.

On trouve les données sur les caractéristiques de la jante sur la Figure A2-29 tirées du manuel d'entretien d'Alcoa (Alcoa Corporation 2017). En consultant les notes citées plus bas, le # de pièce 823651 se terminant par le chiffre 1 confirme qu'il s'agit d'une jante ayant un déport interne.

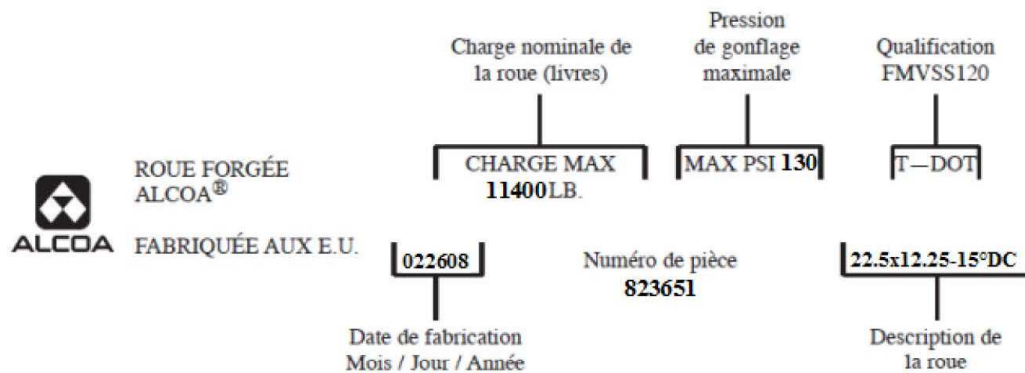


Figure A2-27. Tableau Alcoa pour l'identification des jantes Alcoa



Figure A2-28. Photo des marques d'identification de la jante

ROUES SANS CHAMBRE À AIR (trous ronds pour manutention) MESURES ANGLAISES — suite

Numéro d'article	Description de la roue	Charge maximale de la roue ¹ en lb	Poids de la roue en lb	Déport externe en pouces ³	Déport interne en pouces	Pression maximale de gonflage PSI – à froid	Tige de valve	Numéro de pièce ²	Finis offerts ⁴
*21	22.5x12.25-15°DC	11,400	66	3.88	2.75	130	TR543E outset TR545E inset	823650	0, 1, 2, ODB, 1DB, 2DB, ODF, 1DF, 2DF,

Figure A2-29. Tableau des caractéristiques spécifiques de la jante expertisée

Voir à la page suivante les notes explicatives pour l'interprétation des informations fournies dans le tableau ci-haut :

« Ne dépassez pas la charge maximale par roue. Le client doit comparer la capacité de charge du véhicule prescrite par le fabricant d'origine à la capacité de charge maximale de la roue. Ne surgonflez pas un pneu.

Reportez-vous aux recommandations du fabricant de pneus pour connaître la pression de gonflage appropriée. Avant d'installer le pneu, vérifiez la configuration de la roue afin de vous assurer que le dégagement est suffisant et libre de toute obstruction.

- 1- La capacité de charge à titre de roue simple ou roues jumelées pour utilisation sur la route – à carcasse diagonale ou radiale. Les capacités de charge en lb pour les articles 31 à 42 sont arrondies au multiple de 5 le plus près.
 - 2- Les numéros de pièce énumérés pour tous les formats sont pour des roues avec fini satin (le dernier des six caractères du numéro de pièce est un « 0 »). Les finis polis sont identifiés par le remplacement de dernier caractère du numéro de pièce par l'un des chiffres dans la colonne adjacente (finis offerts). Certaines roues peuvent porter des numéros de pièce qui ne figurent pas dans le présent manuel. Avant d'effectuer des réparations sur ces roues, communiquez avec votre représentant Alcoa afin d'obtenir les renseignements exacts relatifs à la charge, au gonflage et à la compatibilité des pièces.
 - 3- Déport externe (positif)/Déport interne (négatif) — La distance entre la ligne centrale de la roue et la surface de montage de la roue. Le déport interne (négatif) place la ligne centrale de la roue à l'intérieur de la surface de montage de la roue et le déport externe (positif) place la ligne centrale de la roue à l'extérieur de la surface de montage de la roue (la moitié de l'espace entre des roues jumelées = décalage).
 - 4- Pour l'instant, les options de traitement de surface Dura-Bright® et Dura-Flange® ne sont pas offerts sur une même roue.
 - * les numéros de pièce devraient se terminer par un « 1 » ou un « 9 » pour des roues installées en position de déport interne, et par un « 0 » ou un « 2 » pour des roues installées en position de déport externe.
 - † Indique les roues de nouvelle génération européenne.
 - †† Vérifiez auprès du fabricant du véhicule ou du fabricant de l'essieu avant de procéder à la modernisation du véhicule au moyen de roues à base large avec déport externe afin de vous assurer que ces roues sont compatibles avec l'essieu de même qu'avec les composantes de bout d'essieu. Les numéros de pièce 841100, 841400 et 841600 ne sont pas recommandés pour les essieux de remorque à fusée de tyne « N ».
 - ‡ Les kits de système de chapeaux de moyeu, numéro de pièce 076085 (avant) et numéro de pièce 077085 (arrière) contiennent des capuchons d'écrou Hug-a-lug® boulonnés et, afin que l'on puisse les utiliser, ceux-ci requièrent qu'un minimum de quatre filets de goujon dépassent à l'extérieur de l'écrou borgne une fois celui-ci resserré.
 - ‡‡ Le minimum de saillie de goujon requis pour le numéro de pièce 833580 est 2,375 po (60,3 mm) lorsque l'écrou numéro 39874 est utilisé. Les écrous plus hauts nécessitent une saillie plus longue.
 - § Les numéros de pièce 885600 et 985600 sont des roues Alcoa pour utilisation intensive.
 - ** En date du 1er avril, 2007 l'option de traitement Dura-Bright® sera sous la politique d'inventaire non courant.
- Note : Le numéro de pièce des roues Dura-Bright® fabriquées après novembre 2002 se termine par « DB » (le numéro de pièces des roues fabriquées antérieurement se termine par un 4 ou un 7) et leur diamètre d'accrochage est mesuré par incréments de 0,5 po. »

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

39

Expertise technique dossier accident mortel 12 sept. 2018 chez Transport S. Hallé et filles inc. à Baie-Comeau

10. ANNEXE # 3 - RELEVÉ DES MESURES DE DURETÉ DE LA JANTE

Le relevé des mesures de dureté et la description des équipements utilisés est présenté sur la Figure A3-30.

		8740 Boul. PIE IX Montréal, Qc. H1Z 3V1 Tel: (514) 593-5765 Fax: (514) 593-8338		RAPPORT/REPORT#: 18M5131-15 Rev.1 PAGE: 1 DE 1		
RAPPORT D'ESSAI DE DURETÉ HARDNESS TEST REPORT				CLIENT: ÉCOLE POLYTECHNIQUE ADRESSE/ADDRESS: 2900, Chemin de Polytechnique Montréal, Québec, H3T 1J4 aurelian.vadean@polymtl.ca		
BON DE COMMANDE/P.O.#:	OUVRAGE / JOB#:	PROJET / PROJECT:	NORME / SPEC.:	PROCEDURE#:	ISS.:	REV.:
Aurelian Vadean	Jante de roue	CNESST# 703302329	N/A	P4b-HT-01A	1	7
ÉQUIPEMENT UTILISÉ EQUIPMENT USED	APPAREIL	MARQUE / TRADE MARK: BAQ GmbH	MODELE / MODEL: AlphaDur mini	SERIE / SERIAL#: ADM-1133		
	PROBE	MARQUE / TRADE MARK: BAQ GmbH	MODELE / MODEL: UCI-Probe load 49N	SERIE / SERIAL#: 4624		
	BLOC DE CALIBRATION	MARQUE / TRADE MARK: Sun Tec Corporation	MODELE / MODEL: 65,7 HRC	SERIE / SERIAL#: 02662D		
IDENTIFICATION ET/AND DESCRIPTION DE LA/OF PIÈCE/EQUIPEMENT: Jante de roue d'aluminium. Matériel probable: Alliage d'aluminium 6061-T6. Vérification de la calibration effectuée avec un bloc de 81HV5 d'alliage 6061.						
DURETÉ SPÉCIFIÉE HARDNESS SPECIFIED	<input type="checkbox"/> MIN. <input type="checkbox"/> MAX.	SOUDELURE WELD	ZONE AFFECTÉE HEAT AFFECTED ZONE	MATÉRIEL MATERIAL		
IDENTIFICATION		SOUDELURE/WELD <input checked="" type="checkbox"/> N/A	ZONE AFFECTÉE/H.A.Z <input checked="" type="checkbox"/> N/A	MATÉRIEL/MATERIAL <input type="checkbox"/> N/A		
Côté intérieur (affecté par la chaleur)						
Zone 0 degré						
Zone 120 degrés approximatif						
Zone 240 degrés approximatif						
Centre de la jante - 0 degré						
Côté extérieur (côté disque)						
Zone 0 degré						
Zone 120 degrés approximatif						
Zone 240 degrés approximatif						
REMARQUE(S) / RECOMMENDATION(S):						
Chaque valeur rapportée est une moyenne de 5 lectures prises dans environ un pouce carré de surface.						
Pascal Morin, Ing. - Chef de service TECHNICIEN/TECHNICIAN		2018-11-20 DATE				

Figure A3-30. Rapport de duretés relevées sur la jante

11. REFERENCES

- Alcoa Corporation. *Service Manual for Alcoa Wheels*. 2017.
- ASTM International. *ASTM A1038-05 Standard Practice for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2005.
- . *ASTM B247-15 Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Die Forgings, Hand Forgings, and Rolled Ring Forgings*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.
- Auxerre, P. Bourrelet de pneumatique avec éléments de renfort circonférentiels. Brevet EP1047566B1. 10 02 2004.
- CSST. «Rapport d'enquête d'accident mortel 2 avril 2004, Rapport # RAP0253028.» 2004.
- Dolez, P.I. et al. «Exploring the chemical aspects of truck tire blowouts and explosions.» *Safety Science* 46, 2008: 334-1344.
- <https://www.lecaoutchouc.com/>. «Protection, prévention et impact environnemental des incendies de stockage des pneumatiques; Dossier de retour d'expérience du SNCP.» <https://www.lecaoutchouc.com/>. s.d.
https://www.lecaoutchouc.com/images/Partie_publicue_ESS/Dossier_N2_synth%C3%A8se_Version_fran%C3%A7aise.pdf (accès le février 11, 2019).
- IRSST. «Étude exploratoire sur les phénomènes d'éclatement et d'explosion de pneus de camions lourds # R-479.» 2006.
- ISO 1101:2017(fr). «Spécification géométrique des produits (GPS) — Tolérancement géométrique — Tolérancement de forme, orientation, position et battement.» De ISO. 2017.
- Michel, Lionel. *Étude et caractérisation des phénomènes d'éclatement et d'explosion des pneus de camion, Mémoire de maîtrise*. Montréal: École Polytechnique de Montréal, 2010.
- Michelin North America Inc. *THE MICHELIN XZY® 3 WIDE BASE TIRE*. 2018. https://www.michelinb2b.com/wps/b2bcontent/PDF/XZY3_WB_DataPg.pdf (accès le février 11, 2019).
- Michelin Truck Tire Data Book. «Michelin Truck Tire Data Book.» 2018. https://www.michelinb2b.com/wps/b2bcontent/PDF/Truck_Tire_Data_Book.pdf (accès le 12 10, 2018).
- Military Handbook, U.S. Department of Defense. *Military Handbook - MIL-HDBK-5J: Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures*. s.d.

ANNEXE E**Références bibliographiques**

ARCONIC WHEEL AND TRANSPORTATION PRODUCTS. *Service manual for Alcoa wheels*, January 2017, supersedes August 2015, [Fichier PDF], Cleveland, Ohio, Arconic, 2017, 52 p. [https://www.arconic.com/alcoawheels/catalog/pdf/2017_service_manual_english.pdf] (Consulté en septembre 2018).

ASSOCIATION SECTORIELLE TRANSPORT ENTREPOSAGE, INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *L'éclatement et l'explosion des pneus de véhicules lourds : fiche technique destinée au personnel affecté à la réparation et à l'entretien de véhicules lourds*, [Fichier PDF], Montréal, ASTE, IRSST, 2009, 11 p. [<http://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/r-568.pdf>] (Consulté en octobre 2018)

MICHEL, Lionel. *Étude et caractérisation des phénomènes d'éclatement et d'explosion des pneus de camion*, [Fichier PDF], Mémoire (M.A.), École Polytechnique de Montréal, 2010, xxii, 135 p. [https://publications.polymtl.ca/420/1/2010_LionelMichel.pdf] (Consulté décembre 2018).

MICHELIN. *Pneu Poids Lourd Michelin : manuel d'entretien*, [Fichier PDF], Greenville, Car. Du N., Michelin North America, 2006, 75 p. [https://www.michelinb2b.com/wps/b2bcontent/PDF/Service_Manual_FRA.pdf] (Consulté en octobre 2018).

MICHELIN. *Michelin truck tire data book : truck tires, retreads, RV tires, and commercial light truck tires*, 19th ed., [Fichier PDF], Greenville, Car. Du N., Michelin North America, 2018, 108, xiii p. [https://www.michelinb2b.com/wps/b2bcontent/PDF/Truck_Tire_Data_Book.pdf] (Consulté en octobre 2018).

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. *Materials handling and storage : servicing multi-piece and single piece rim wheels*, [5th ed.], [En ligne], Washington, D.C., OSHA, 2011. (1910.177). [<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.177#1910.177>] (Consulté en octobre 2018).

QUÉBEC. *Règlement sur les normes de sécurité des véhicules routiers, chapitre C-24.2, r. 32, à jour au 1^{er} septembre 2018*, [En ligne], [Québec], Éditeur officiel du Québec, 2018. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/C-24.2,%20r.%2032/>] (Consulté en octobre 2018).

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 4 septembre 2018*, [En ligne], [Québec], Éditeur officiel du Québec, 2018. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/S-2.1/>] (Consulté en octobre 2018).

QUÉBEC. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, chapitre S-2.1, r. 13, à jour au 1^{er} janvier 2018*, [En ligne], [Québec], Éditeur officiel du Québec, 2018. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%2013>] (Consulté en septembre 2018).