

Rapport d'Enquête de Sécurité

Déraillement d'un train de marchandises Lineas Aubange - 19 mai 2017

TABLE DES VERSIONS DU RAPPORT

<u>Numéro de la version</u>	<u>Sujet de révision</u>	<u>Date</u>
1.0	Première version	19/07/2018

Toute utilisation de ce rapport dans une perspective différente de celle de la prévention des accidents - par exemple celle de définir des responsabilités, et a fortiori des culpabilités individuelles ou collectives - serait effectuée en distorsion totale avec les objectifs de ce rapport, les méthodes utilisées pour le bâtir, la sélection des faits recueillis, la nature des questions posées, et les concepts qu'il mobilise, auxquels la notion de responsabilité est étrangère. Les conclusions qui pourraient alors en être déduites seraient donc abusives au sens littéral du terme.

En cas d'incohérence entre certains mots et termes, la version en français fait foi.

Table des matières

1. Résumé	4
2. Les faits immédiats	12
2.1 L'événement	12
2.2 Les circonstances de l'événement	16
2.3 Pertes humaines, blessés et dommages matériels	22
2.4 Circonstances externes	25
3. Compte-rendu des investigations et enquêtes	26
3.1 Résumé des témoignages	26
3.2 Système de gestion de sécurité	27
3.3 Règles et réglementation	38
3.4 Fonctionnement du matériel roulant et des installations techniques	39
3.5 Documentation sur le système opératoire	56
3.6 Interface Homme-Machine-Opération	60
3.7 Événements de nature similaire	61
4 Analyse et Conclusions	62
4.1 Compte-rendu final de la chaîne d'événements	62
4.2 Analyse des facteurs techniques	63
4.3 Analyse des facteurs organisationnels	65
4.4 Conclusions	70
5 Mesures prises	72
5.1 Mesures prises par le JNS	72
5.2 Mesures prises par la société VTG	74
6 Recommandations	76
7 Annexes	78
7.1 Conicité équivalente	78
7.2 Différence de signe entre la version française et les versions en allemand et en anglais du guide d'application des semelles LL (V-BKS LL)	80

1. RÉSUMÉ

Les faits

Le 19 mai 2017 un peu avant 3 heures du matin, le train de marchandises 40378 de l'entreprise ferroviaire Lineas démarre de Virton et roule sur la ligne 165. Il est composé d'une locomotive électrique de type 13 et de 25 wagons.

Après avoir parcouru environ 6 km, un peu avant le PANG d'Halanzy, la roue droite de l'essieu 3-3' (bogie central sur un wagon articulé) du 24ème wagon se brise et un fragment de la roue se détache de la roue, suivi d'un 2ème fragment.

Aucun élément en poste de conduite n'indique au conducteur du train le bris de roue et le train poursuit son trajet.

Le bogie central du 24ème wagon déraile et se positionne «en crabe», ce qui occasionne des dégâts à l'infrastructure et à divers éléments de signalisation.

Le déraillement du 24ème wagon (n°3368 4952 072-9) est la conséquence du bris de la roue droite de l'essieu 3-3' du wagon (voir illustration ci-dessous).

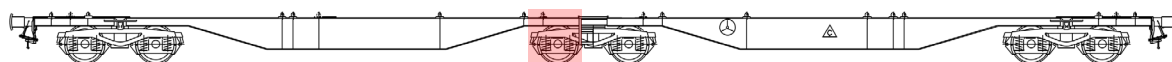


Illustration d'un wagon de type Sggmrs, avec indication de l'essieu 3-3'

Le block 23 de Bertrix constate divers dérangements au niveau de l'infrastructure et de la signalisation dans le tronçon entre Halanzy et Aubange après le passage du train 40378 : occupations et libérations anormales de circuits de voie détectant la présence de train dans des sections, des pertes de contrôle de plusieurs aiguillages ainsi que des alarmes sur des passages à niveau.

Le personnel du block 23 prend contact avec le conducteur du train pour lui demander s'il a des soucis avec son train : celui-ci n'ayant rien remarqué de problématique, il poursuit son trajet.

Persuadé que le problème vient du train, le block prend de nouveau contact avec le conducteur pour lui demander d'arrêter son train et de procéder à une inspection. Le conducteur immobilise le train à hauteur de la BK 141200. Cet appel est interrompu par l'alarme que lance le Traffic Control via GSM-R, interrompant les circulations.

L'inspection du train par le conducteur permet de constater le déraillement des deux derniers wagons du train. Les premières inspections du matériel roulant, des voies et des abords des voies ont permis de détecter qu'une des roues de l'avant-dernier wagon s'était brisée environ 17 kilomètres en amont du point d'arrêt du train, provoquant le déraillement de ce wagon.



Expertise de la roue brisée et essieux du bogie

Les morceaux de la roue brisée, de même que l'essieu impliqué et le second essieu du bogie ont été expertisés en laboratoire afin de déterminer la cause de la rupture de la roue.

Il en ressort que suite à un incident de frein, un freinage trop énergétique, ou l'application de semelles de freins agressives comme certaines semelles composites de type LL, il peut y avoir eu apparition de défauts sur la table de roulement de type criques thermiques et gerçures et échauffements importants de la jante.

Les endommagements de la peinture observés au niveau du raccordement toile/jante sur les fragments de la roue brisée confirment ces faits.

Ces défauts, au cours du service, se sont propagés en fatigue dans une direction radiale, sous l'effet des sollicitations thermiques.

L'expertise conclut sur base de son analyse en laboratoire que :

- les phénomènes observés confirment l'élévation importante de la température de la jante au cours des services opérés par le wagon ;
- le problème survenu à la roue qui s'est brisée n'est pas tant un problème de profil de roue (hauteur de boudin ou valeur de conicité équivalente) qu'un problème de résistance aux sollicitations thermiques et aux cycles de ces sollicitations imposés à la roue ;
- les échauffements ont touché l'ensemble des roues du bogie et sont liés à des cycles de freinage trop intenses et/ou à l'utilisation d'un couple roues/semelles inadapté.



Fragment n°	Borne Kilométrique (BK)	
1	127.800	
2	127.000	
3	124.000	
4	124.000	

A qui appartient le wagon ?

Le wagon a été fabriqué en 2003 par la société LOSTR pour le compte de la société détentrice de wagons «Ahaus Alstätter Eisenbahn Cargo AG» (AAE, en abrégé).

Le wagon a été immatriculé et inscrit au NVR (Registre National des Véhicules) par l'Autorité Nationale de Sécurité allemande (Eisenbahn-Bundesamt).

Conformément à l'appendice CUV¹ de la COTIF² 1999, le détenteur n'est plus obligé d'enregistrer ses wagons auprès d'une entreprise ferroviaire.

L'utilisation des wagons par les entreprises ferroviaires (EF) comme moyen de transport exige la mise en place de dispositions contractuelles définissant les droits et obligations de chacune des parties.

Pour limiter la multitude des accords bilatéraux qui devaient être conclus entre tous les utilisateurs / détenteurs de wagons et toutes les entreprises ferroviaires, les acteurs du secteur ont tenu des réunions dès 2002/2003 pour définir le Contrat Uniforme d'Utilisation des wagons (CUU ou GCU en anglais).

Ces acteurs sont :

- les entreprises ferroviaires historiques (à travers l'UIC) ;
- les nouveaux entrants (à travers l'ERFA³) ;
- les propriétaires de wagon (à travers l'UIP).

Afin d'accroître l'efficacité et la compétitivité du fret ferroviaire, les détenteurs de wagons et EF ayant adhéré au CUU (Contrat Uniforme d'Utilisation des wagons - CUU) conviennent d'appliquer les dispositions de ce contrat.

Le CUU est un contrat multilatéral fondé sur la convention internationale COTIF 1999 et son appendice CUV. Il énonce les droits et obligations mutuels des détenteurs de wagons (K) et des entreprises ferroviaires (EF) lors de l'utilisation de wagons comme un moyen de transport en Europe et au-delà.

En 2015 le groupe VTG reprend les activités de la société AAE : VTG devient le nouveau propriétaire des wagons détenus par AAE et donc du wagon 33 68 4952 072-9.

Une entité unique assumera la responsabilité de la maintenance et la gestion du plan de maintenance.

La société VTG dispose d'une certification en tant qu'Entité en Charge de la Maintenance (ECM).


La société VTG est à la fois propriétaire et l'ECM du wagon 33 68 4952 072-9.

LINEAS est une entreprise ferroviaire de fret européenne exploitant des trains en Open Access en Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, France et Allemagne. Elle dispose de ses propres wagons mais elle est également EF «utilisatrice» de wagons appartenant à divers détenteurs, dont des wagons de VTG.

¹ CUV = Règles uniformes concernant l'utilisation de véhicules en trafic international ferroviaire.

² COTIF = Convention relative aux transports internationaux ferroviaires.

³ ERFA = European Rail Freight Association. L'ERFA a été créée à Bruxelles en 2002 par quelques nouveaux opérateurs ferroviaires de fret (sociétés européennes privées et indépendantes), dans le but de soutenir la vision européenne d'un marché ferroviaire libéralisé.



Lors d'une maintenance sur le wagon 33 68 4952 073-9 en novembre 2015, les semelles de frein en fonte ont été remplacées par des semelles composite de type LL par VTG.

Pourquoi des semelles composites de type LL ?

Le bruit est depuis longtemps un des points d'attention du secteur ferroviaire. Il y a une prise de conscience croissante de l'impact du bruit ferroviaire sur la santé publique, ce qui a entraîné :

- une pression de la part des riverains des lignes ferroviaires, des gouvernements et des organisations de santé pour une atténuation accrue du bruit ;
- des coûts supplémentaires pour isoler les abords des voies (atténuation des nuisances sonores) ;
- des demandes de limites de disponibilité / capacité ;
- des résistances à l'expansion du réseau.

Des développements de nouvelles stratégies et technologies pour la gestion du bruit ont vu le jour au sein du secteur. L'une d'entre elle consiste à adoucir le contact rail/roue (principe «roues lisses sur rails lisses»).

Depuis des décennies, les semelles de frein des wagons de marchandises sont en fonte : leur influence sur l'acier des roues est peu nocive mais ces semelles souffrent d'une usure assez forte et entraînent des modifications de la surface de roulement des roues sur lesquelles elles sont appliquées.

Des études se sont orientées vers d'autres matériaux, dont les matériaux composites. Ces semelles allient des mélanges de poudre de métal et d'autres additifs. Ces recherches ont pour but d'obtenir des semelles de frein plus performantes et qui polissent la roue lors du freinage. En combinaison avec des rails lisses, ceci permet de réduire le bruit de roulement d'environ 10 dB, ce qui signifie une réduction de moitié le bruit ressenti.

Deux solutions techniques sont développées : des semelles composites de type K ou de type LL⁴.

Homologation des semelles de type LL

Un groupe de travail au niveau de l'UIC fournit une expertise technique pour approuver une ou plusieurs semelles de type LL.

Une nouvelle édition de la fiche UIC 541-4 a été produite et reprend des compléments de test.

L'UIC recommande :

- que le processus d'homologation des types de blocs soit prolongé pour les trois années suivantes ;
- que pour chaque combinaison de type wagon et bloc, des essais de glissement soient effectués pour confirmer la performance de freinage ;
- que la conicité équivalente des roues soit surveillée en fonctionnement ;
- que toutes les données d'essai en matière de sécurité, de rentabilité et de performances soient fournies à l'UIC.

En décembre 2010, l'UIC démarre le projet «EuropeTrain», dans le but d'évaluer le comportement à long terme de diverses configurations de semelles de frein LL et d'accélérer le processus d'homologation des semelles de type LL.

⁴ LL = Low friction Low noise.



Les opérations de mesures du projet «EuropeTrain» ont pris fin en septembre 2012 : plus de 200.000 km ont été parcourus par 16 trains sur la base de 5 boucles différentes avec des conditions climatiques, topographiques et opérationnelles très différentes.

Des mesures statiques et en ligne pour définir la stabilité de certains wagons ont été réalisées. Les semelles de type LL ont été homologuées⁵ dans le courant de l'année 2013.

Les conclusions ainsi que les mesures et dispositions issues des essais du «Europe Train» ont été rassemblées dans des documents, dont :

- Document V-BKS (LL) valable à partir du 01/08/2013, directive d'application pour les semelles de frein composites LL, qui définit l'équipement (partie 1), l'exploitation, la surveillance et la maintenance (partie 2) des wagons qui sont dotés de semelles composites de type LL, certifiées conformément à la fiche au sens de la fiche UIC 541-4.
- Fiche UIC 518 «Essais et homologation de véhicules ferroviaires du point de vue du comportement dynamique - Sécurité - Fatigue de la voie - Qualité de marche».

Le document V-BKS (LL) définit les conditions à remplir par le matériel roulant pour que les semelles en fonte grise puissent être remplacées par des semelles LL. Il rassemble également les mesures de surveillance et d'exploitation du matériel roulant.

Processus de modification de wagons de marchandises

La transformation de wagons de marchandises est soumise aux modalités de la Directive 2008/57/CE (Art.20). L'état membre doit donc statuer au regard des STI si l'importance des travaux nécessite une nouvelle mise en service. Une nouvelle mise en service est de toute façon nécessaire chaque fois que le niveau de sécurité peut être affecté par les travaux envisagés.

Dans le cadre de la modification des semelles du wagon, la société VTG s'est basée sur le document V-BKS (LL) valable à partir du 01/08/2013⁶.

Le document V-BKS (LL) définit le champ d'application des wagons entrant en ligne de compte pour le remplacement des semelles fontes par des semelles LL.

Ce document décrit les conditions que doit remplir le wagon pour ce changement. Il a été conclu que le wagon 33 68 4952 072-9 répondait à toutes les exigences du V-BKS (LL).

En 2015, se basant pour certains points sur des conditions reprises dans le document «V-BKS (LL)», et pour un autre point sur des résultats acquis par le projet «EuropeTrain», l'ECM VTG a remplacé les semelles en fonte grise par des semelles composite de type LL.

⁵ Les blocs de frein dits interopérables sont repris dans la liste G en annexe à la STI Wagon (voir <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/CR-WAG-TSI.aspx>)

⁶ La Directive d'application pour les semelles de frein composites LL (UIC) définit l'équipement (partie 1), l'exploitation, la surveillance et la maintenance (partie 2) des wagons qui sont dotés de semelles composites de type LL au sens de la fiche UIC 541-4, certifiées conformément à la fiche UIC 540-00.

Surveillance des roues et essieux du wagons

Selon la fiche UIC 510-2, il convient de respecter, pour les roues, les dispositions suivantes :

- la surveillance des roues en service est effectuée conformément aux dispositions du CUU ;
- tous les essieux des wagons équipés de semelles composites LL sont soumis à une vérification spéciale à l'occasion de chaque passage en atelier. L'évaluation de l'état et le traitement des roues sont effectués conformément au CUU ou à la fiche UIC 510-2 et en conformité à la procédure décrite dans la Directive de construction pour les semelles composites K :
 - présence de caractéristiques visibles indiquant une surcharge thermique (par ex. des brûlures nettes et nettement délimitées de la peinture au-dessous de la jante, des jantes de couleur bleuâtre, des apports de métal),
 - une usure forte ou non homogène, des avaries sur la table de roulement et des criques thermiques.

Conformément aux dispositions du CUU, des « visites techniques d'échange » du train ont eu lieu avant chaque départ du train. Le wagon 33 68 4952 072-9 a donc été inspecté à plusieurs reprises entre mars 2017 (date du passage du wagon dans les ateliers de l'ECM) et le 19 mai 2017 (date de l'accident).

L'inspection de la roue n'est pas facilitée par le design : la photo ci-dessous donne une indication de la portion visible de la roue d'un wagon du même type que le wagon 33 68 4952 072-9.



Après l'installation des semelles LL en novembre 2015, le wagon 33 68 4952 072-9 a effectué divers passages en atelier pour y subir des maintenances préventives effectuées notamment en octobre 2016 et en mars 2017.

En décembre 2016, les semelles de frein du wagon 33 68 4952 072-9 ont été changées.

Aucune information à notre disposition n'indique la présence de caractéristiques visibles d'une surcharge thermique, d'avaries sur la table de roulement ou de criques thermiques.

Ni les diverses visites techniques d'échange, ni la maintenance de mars 2017 du wagon 33 68 4952 072-9 n'ont fait mention d'un constat d'anomalie sur les roues du wagon.

Surveillance des profils de roue

Il a été constaté que l'utilisation de blocs LL entraîne une croissance de la conicité équivalente plus rapide qu'avec les blocs en fonte grise (évolution linéaire, même pour un kilométrage élevé). Ceci nécessiterait un reprofilage 2 fois plus fréquemment, soit tous les 100.000 km (bien que ces chiffres dépendent des conditions d'utilisation).

L'UIC recommande un contrôle tous les 50.000 km et un reprofilage tous les 150.000 à 200.000 km.

Cependant le document «V-BKS (LL)» prévoit que, selon leur expérience particulière et par une évaluation correspondante des risques, les ECM ont la possibilité d'adapter les exigences de monitoring des profils de roue d'un wagon sur lequel les semelles LL ont été installées.

En fonction de l'expérience acquise lors des essais, la société VTG avait prévu qu'une première inspection aurait lieu une fois que le wagon 3368 4952 072-9 aurait parcouru 200.000 km après le reprofilage des roues du wagon.

Les essais et l'expérience acquise avaient permis à VTG de déterminer que ni la hauteur du bou-din ni la conicité équivalente ne dépassaient des valeurs critiques lors de l'utilisation de semelles de frein de type LL, même après un kilométrage de plus de 200.000 km.

Selon les données disponibles pour ce wagon, au moment de l'accident, le wagon avait parcouru environ 193.000 km depuis le dernier reprofilage des roues en octobre 2015.





Mesures prises

La société VTG a pris diverses mesures qui ont été transmises aux ateliers par voie de notices :

- 14/06/2017 : Notice permettant l'identification des wagons impliqués (types de roue, types de freins, marquage des wagons) ;
- 10/08/2017 : Inspection visuelle des roues pour rechercher d'éventuels dégâts et signes de surchauffe ;
- 14/09/2017 : Adaptation des freins sur certaines séries de wagons ;
- 21/09/2017 : Adaptation des freins sur certaines (autres) séries de wagons.

La société VTG a également réalisé une analyse en septembre 2017 : le but était de vérifier si des éléments du système pneumatique des freins des wagons du même type que le wagon 33 68 4952 072-9 devaient subir des adaptations.

Avec le support de l'ERA, le Joint Network Secretariat (JNS) a réuni un groupe de travail dès juin 2017.

Le mandat du groupe de travail est de livrer le plus tôt possible un plan d'action traitant des mesures d'atténuation ayant un impact à court terme, des causes profondes des roues brisées et de toute option et des solutions efficaces pour préserver l'interopérabilité et la sécurité du système ferroviaire européen.

Pour remplir sa mission, le groupe de travail a recherché différents types d'experts. Selon le document d'invitation, les experts qui se proposaient devaient spécifier leur domaine, à savoir : expertise dans la conception, la fabrication et l'entretien des roues et des trains de roulement des wagons de fret et de l'expérience de l'utilisation de semelles de frein composites dans les opérations de fret.

Suite aux cas similaires observés (cf. 3.7), le groupe d'experts réunis par le JNS (Task Force «Broken wheels») a pris diverses mesures urgentes à court terme :

- Introduction de mesures supplémentaires en fonctionnement, entretien des wagons et maintenance des essieux montés sur les véhicules ;
- Récolte d'informations sur les cas observés afin de permettre des analyses croisées et de déterminer des causes possibles.

Le but de ces analyses croisées est de déterminer des mesures à long terme.



2. LES FAITS IMMÉDIATS

2.1. L'ÉVÉNEMENT

2.1.1. DESCRIPTION DE L'ÉVÉNEMENT

Le 19 mai 2017 un peu avant 3 heures du matin, le train de marchandises 40378 de l'entreprise ferroviaire Lineas démarre de Virton et roule sur la ligne 165. Il est composé d'une locomotive électrique de type 13 et de 25 wagons.

Vers 03:18, le block 23 de Bertrix constate divers dérangements au niveau de l'infrastructure et de la signalisation dans le tronçon entre Halanzy et Aubange après le passage du train 40378 : occupations et libérations anormales de circuits de voie détectant la présence de train dans des sections, des pertes de contrôle de plusieurs aiguillages ainsi que des alarmes sur des passages à niveau.

Le block 23 contacte le Traffic Control : via GSM-R, celui-ci envoie une alarme et prend contact avec le conducteur du train 40378 pour lui demander d'arrêter son train. Le conducteur immobilise le train à hauteur de la BK 141200.

L'inspection du train par le conducteur permet de constater le déraillement des deux derniers wagons du train. Les dégâts à l'infrastructure sont très importants et répartis sur une distance de 14 kilomètres.

Les premières inspections du matériel roulant, des voies et des abords des voies ont permis de détecter qu'une des roues de l'avant-dernier wagon n° 3368 4952 072-9 s'était brisée environ 17 kilomètres en amont du point d'arrêt du train, provoquant le déraillement de ce wagon. Le wagon est resté accroché au train, occasionnant les dégâts à l'infrastructure. Quatre morceaux de la roue brisée ont été retrouvés dans les voies.

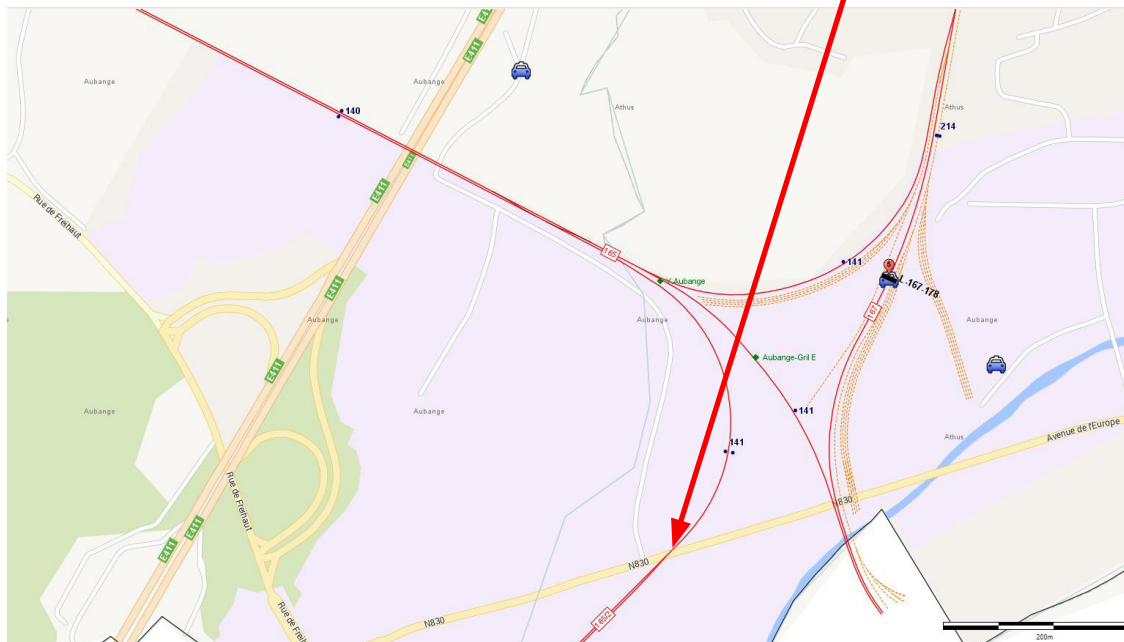
2.1.2. LOCALISATION

L'accident s'est produit sur la ligne 165 reliant Bertrix à Athus.



Illustration : localisation de l'accident (source : Infrabel).

Après l'arrêt du train, la tête du train (locomotive) est située à la BK 141200.



2.1.3. LA DÉCISION D'OUVRIRE UNE ENQUÊTE

L'enquêteur de garde de l'OE est directement prévenu par le Traffic Control et se rend sur le site de l'accident.

De par l'ampleur des dégâts, l'accident répond à la définition d'accident grave selon la loi du 30 août 2013 portant le Code ferroviaire⁷ : conformément à l'article 111 de cette loi⁸, l'Organisme d'Enquête (OE) a décidé d'ouvrir une enquête et en a informé les parties concernées.

2.1.4. LA DÉCISION DE LANCER UNE SAFETY ALERT

Durant les premières inspections sur le site de l'accident, des morceaux de roue ont été retrouvés. Le bris de la roue du wagon impliqué était à rapprocher d'autres cas de fissures et bris de roues observés dans divers pays en Europe sur des wagons similaires et qui faisaient l'objet d'une surveillance.

L'Organisme d'Enquête a décidé de lancer une *safety alert* au travers de l'outil SIS mis en place par l'ERA. L'OE a également publié un General Information Bulletin (GIB) reprenant les premiers éléments de l'enquête.

Le SIS est un système à l'adresse des NSA⁹ et des NIB¹⁰ leur permettant de partager entre eux les alertes de sécurité.

Ces acteurs doivent rapporter des informations sur des dangers qui, selon leur propre jugement :

- ont trait à des défauts et à des non-conformités de construction ou des dysfonctionnements des équipements techniques, y compris ceux des sous-systèmes structurels;
- sont nouveaux ou inattendus et, par conséquent, entraînent un risque d'être mal contrôlés;
- peuvent entraîner un incident ou accident significatif voire grave;
- peuvent être pertinents pour plus d'un acteur.

L'Autorité Nationale de Sécurité belge, le SSICF, a relayé à l'ensemble des entreprises concernées en Belgique, le contenu de cette *safety alert*, de même que le GIB publié par l'OE.

⁷ Art. 3 - 2° Accident grave : toute collision de trains ou tout déraillement de train faisant au moins un mort ou au moins cinq blessés graves ou causant d'importants dommages au matériel roulant, à l'infrastructure ou à l'environnement, et tout autre accident similaire ayant des conséquences évidentes sur la réglementation ou la gestion de la sécurité ferroviaire; on entend par « importants dommages » des dommages qui peuvent être immédiatement estimés par un organisme d'enquête à un total d'au moins 2 millions d'euros.

⁸ Art. 111. § 1er. L'organisme d'enquête :

1° effectue une enquête après chaque accident grave survenu sur le système ferroviaire;

⁹ NSA = National Safety Authority = SSICF en Belgique.

¹⁰ NIB = National Investigation Body = l'Organisme d'Enquête en Belgique.

2.1.5. JNS

A la suite de l'accident, l'Autorité Nationale de Sécurité italienne, Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie, a proposé au JNS¹¹ une «Urgent Procedure».

Cette « JNS Urgent Procedure notification » était justifiée par le fait que plusieurs éléments repris dans la Safety Alert lancée par l'OE étaient similaires à ceux observés sur un wagon en mars 2017, près de la gare de Giulianova : une rupture de la partie inférieure de la jante d'une roue, avec une partie manquante du plan de roulement, avait été détectée sur un wagon du même type que celui impliqué dans l'accident de Aubange.

Le Joint Network Secretariat (JNS) a décidé de constituer une Task Force «Broken wheels». L'OE a participé à diverses réunions de cette *task force*.

2.1.6. COMPOSITION DE L'ÉQUIPE

Organisme d'appartenance	Rôle
Organisme d'Enquête	Enquêteur principal
Organisme d'Enquête	Enquêteurs
SSICF	Expertise technique et réglementaire, assistance documentaire
Infrabel	Assistance documentaire, logistique, technique
Lineas	Assistance documentaire, logistique, technique
VTG	Assistance documentaire, logistique, technique
Eurailtest	Expertise technique, assistance documentaire
CFL technics s.a.	Expertise technique, assistance documentaire
Q3S	Expertise technique, assistance documentaire

2.1.7. CONDUITE DE L'ENQUÊTE

L'enquête s'articule sur :

- des constatations effectuées sur le site de l'accident (infrastructure, signalisation, matériel roulant);
- des analyses métallurgiques effectuées en laboratoire;
- des mesures sur les composants du système de freinage de wagons;
- l'analyse de documents techniques et réglementaires;
- la participation de l'OE aux réunions de la Task Force «Broken wheels» du JNS.

2.1.7.1. EXPERTISE EXTERNE

L'OE a décidé, au travers d'appels d'offres publics, de s'appuyer sur les services de deux sociétés d'expertise :

- la société EURAILTEST, pour l'analyse métallurgique des roues et morceaux de roues du wagon déraillé;
- la société Q3S, pour une étude des processus d'homologations.

¹¹ Le JNS a été créé en 2012 pour les réseaux des NSA et des NRB (Network of Representative Bodies) en vue de soutenir l'ERA dans l'identification des problèmes et l'organisation des échanges d'opinions et de solutions au sein et entre les réseaux.

2.2. LES CIRCONSTANCES DE L'ÉVÉNEMENT

2.2.1. ENTREPRISES CONCERNÉES

2.2.1.1. ENTREPRISE FERROVIAIRE LINEAS

Lineas est une entreprise ferroviaire de fret européenne offrant des solutions logistiques «door-to-door» dans toute l'Europe. Lineas a développé différents produits ferroviaires au sein du concept de «réseau Green Xpress». Il garantit des connexions ferroviaires rapides, directes et fréquentes entre les pôles économiques en Europe, avec un service et des solutions de first et last mile par train ou par camion.

Lineas exploite des trains en Open Access en Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, France et Allemagne.

Le siège social est installé à Bruxelles et la société est également basée en France, Italie, Pays-Bas et Allemagne et coordonne les opérations dans toute l'Europe. Pour ses activités intermodales, Lineas possède une filiale nommée «Lineas Intermodal».

Le groupe possède une flotte de plus de 200 locomotives et 7000 wagons.

Lineas exerce également les fonctions d'ECM pour ses wagons et certaines locomotives

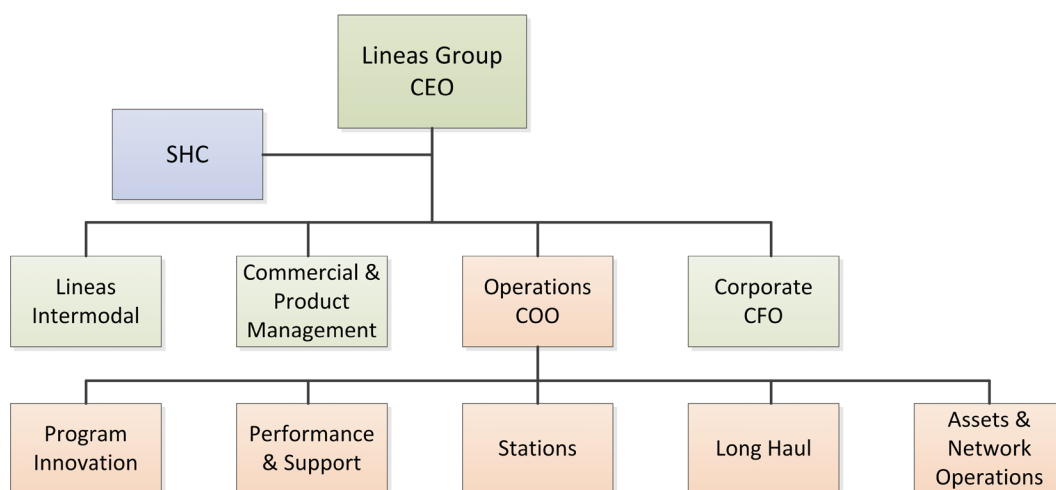


Illustration : Organigramme de la société Lineas.

2.2.1.2. ENTITÉ EN CHARGE DE LA MAINTENANCE VTG

VTG Aktiengesellschaft (VTG AG), dont le siège social se trouve à Hambourg, est une entreprise internationale de location de wagons et de logistique ferroviaire cotée en bourse qui compte environ 80.000 wagons à son actif à l'heure actuelle.

VTG AG est composée de trois divisions (VTG: Railcar, Rail Logistics et Tank Container Logistics) créant une plate-forme de solutions logistiques sur mesure pour le transport international de marchandises (liquides et de marchandises dangereuses).

Les activités de location de wagons, de fabrication de wagons et de maintenance du Groupe sont complétées par une organisation commerciale distincte. En outre, VTG AG et ses filiales utilisent les ressources de divers systèmes de pool, ainsi que la gestion de parcs de wagons externes.

2.2.1.3. GESTIONNAIRE D'INFRASTRUCTURE INFRABEL

Suite à l'Arrêté Royal du 14 juin 2004, Infrabel est le gestionnaire d'infrastructure. Le gestionnaire de l'infrastructure doit veiller à l'application correcte des normes techniques et des règles afférentes à la sécurité de l'infrastructure ferroviaire et à son utilisation.

Infrabel possède un agrément de sécurité depuis le 22 mai 2008, et renouvelé en 2013 auprès du SSICF.

Cet agrément de sécurité spécifie que :

- Infrabel respecte toutes les normes de sécurité requises pour la gestion et l'exploitation du réseau ferroviaire;
- le SGS est accepté.

L'organigramme d'Infrabel est le suivant :



Les départements plus directement concernés par cet incident sont :

- la direction Traffic Management & Services : cette direction assure la gestion opérationnelle quotidienne du trafic ferroviaire sur le réseau belge. La direction entretient également les contacts avec les clients d'Infrabel (entreprises ferroviaires, entreprises raccordées et clients industriels désireux de transporter leurs produits par voie ferroviaire) et gère la distribution et l'allocation de la capacité du réseau. Enfin, la direction Traffic Management & Services coordonne la sécurité et la ponctualité du trafic.
- le service Information & Communication Technology : ICT vient en support des directions et services d'Infrabel pour tout ce qui a trait à l'informatique et aux télécommunications.
- la direction Asset Management : la direction Asset Management gère la maintenance et le renouvellement de l'infrastructure ferroviaire : voies, signaux, caténaires, sous stations de traction, etc. Elle réalise également des inspections sur le terrain, et gère également le support logistique et spécialisé.

2.2.2. TRAIN IMPLIQUÉ

Le train E40378 de Lineas relie Gent à Mortara (Zeebrugge-Milan).

Composition : 25 wagons.

Longueur totale : 545m (wagons).

Masse totale : 1331 T (rame remorquée).

Traction : locomotive de type 13 (1332).



2.2.3. DESCRIPTION DE L'INFRASTRUCTURE ET DU SYSTÈME DE SIGNALISATION

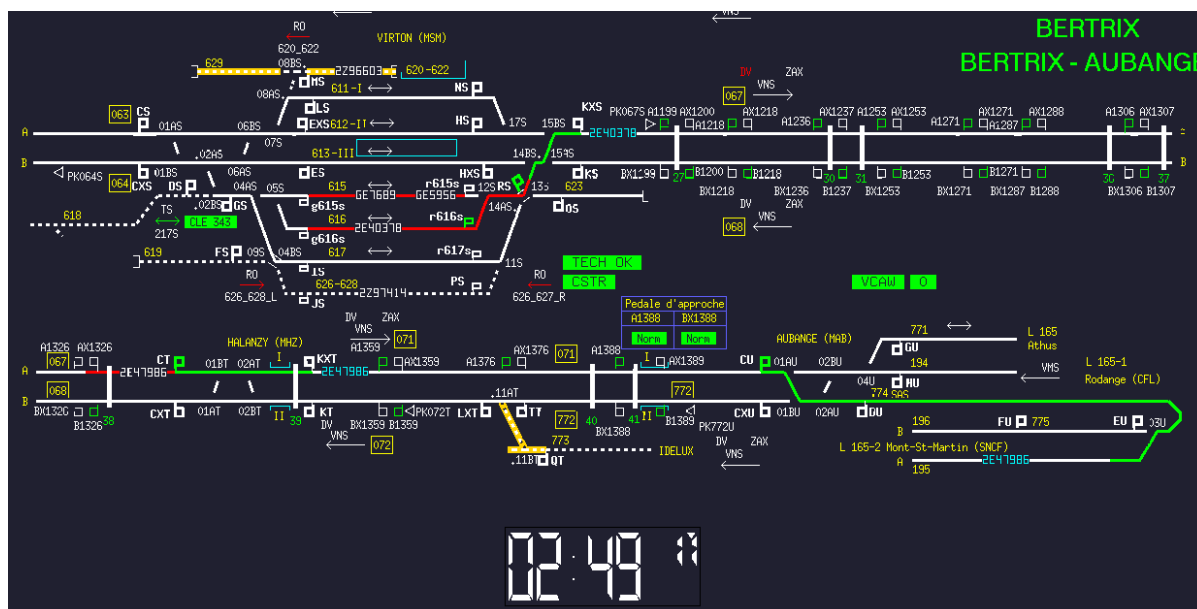
2.2.3.1. LIGNE 165

La ligne 165 est une ligne électrifiée à double voie entre Libramont et Athus. La vitesse de référence de la ligne est de 120 km/h.

2.2.3.2. EBP - ENCLÈCHEMENT

Entre Virton (gare de départ du train) et Athus (BK 141 où le train s'est arrêté), le système de signalisation fonctionne en EBP/PLP.

Ci-dessous, à titre d'exemple, l'image EBP du départ du train du faisceau de Virton vers 2h49.



Une installation EBP fonctionne grâce à un logiciel générique EBP (logiciel développé et maintenu par Siemens), auquel est appliqué un fichier de configuration reprenant les spécificités des installations contrôlées par le poste de signalisation.

Le système EBP assure en outre:

- la gestion du service des trains;
- l'automatisation éventuelle du tracé de l'itinéraire, de l'enclenchement des routes et de l'ouverture du signal;
- le suivi de la circulation des trains et la distribution de ces données vers des systèmes périphériques (régulation (régionale), système de téléaffichage, etc.);
- le recueil d'informations et les commandes relatives aux installations techniques (chauffage des aiguillages, zones d'éclairage, d'alimentation, ...);
- l'archivage des données relatives aux opérations de desserte, à la circulation et aux problèmes survenus.

Le tracé des itinéraires et la commande à l'ouverture des signaux sont réalisés par le traitement des lignes de mouvement gérées à l'écran au moyen du clavier de dialogue ou de la souris.

Les routes peuvent être tracées et les signaux commandés à l'ouverture (automatiquement ou manuellement).

Toutes les modifications apportées aux lignes de mouvement par l'utilisateur (par ex. édition, commande de signal, etc.) ou par le mouvement lui-même (par ex. fermeture automatique des signaux, libération des routes, etc.) sont enregistrées dans le Logbook ou livre de bord.

Toute incompatibilité de manœuvre entre différents organes de commande d'appareils de voie ou de signaux dans le but est matérialisée et contrôlée par l'enclenchement¹², avec comme finalité de n'autoriser le passage d'un mouvement que lorsque toutes les conditions de sécurité nécessaires à celui-ci sont réunies.

Ces conditions, bien que particularisées pour chaque installation, découlent des principes généraux de signalisation et dépendent des qualités et principes de fonctionnement propres des équipements.

L'enclenchement assure ainsi un itinéraire sécurisé et évite tout risque de conflit entre les trajets des trains.

Une fois l'itinéraire tracé et les signaux commandés à l'ouverture, le train parcourt le tracé. Au fur et à mesure de l'avancement du mouvement et de la libération des routes, les points de trajet impliqués dans l'itinéraire sont supprimés de la ligne de mouvement.

2.2.3.3. DÉTECTION DES TRAINS : LES CIRCUITS DE VOIE

Un circuit de voie (CV) est un système de détection des circulations qui utilise un circuit électrique, empruntant les rails de la voie, pour détecter la présence d'un train dans la section.

Lorsque la voie est détectée libre par l'électronique de circuit de voie, le relais de circuit de voie correspondant est mis sous tension et «monte» (état «haut»).

En cas d'occupation de la voie par un train, l'essieu du train agit comme un court-circuit entre les 2 fils de rail et le relais du circuit de voie est mis hors tension par l'électronique de circuit de voie : il descend (état «bas»).

Ce dispositif de détection de circulation permet, entre autres, de commander automatiquement les signaux : si le CV détecte un train, le signal protégeant l'accès à la section passe au rouge.

Lors d'un dysfonctionnement de circuit de voie, la nature intrinsèquement sûre de l'électronique fait que le relais n'est plus alimenté et le relais descend; la voie est déclarée occupée.

On parle alors d'occupation fictive ou intempestive de la voie (train fictif).

¹² Le secteur ferroviaire a utilisé successivement les enclenchements mécaniques, les enclenchements électriques (relais électriques) et enfin les enclenchements électroniques/informatiques.

2.2.4. MOYEN DE COMMUNICATIONS

Lorsque les problèmes ont été constatés, le contact avec le conducteur de train a été établi par le Traffic Control grâce au GSM-R.

Le GSM for Railways (GSM-R) est un standard international pour le réseau radio numérique paneuropéen de communication destiné au secteur ferroviaire. Il supporte les services de voix et de données et travaille dans des bandes de fréquences allouées par la Communauté Européenne identiques en Europe.

Il permet d'établir une communication directe entre le poste de conduite des trains et le Traffic Control, d'effectuer des appels par groupe, de gérer la priorité des appels.

Le train, de même que la section de ligne, étaient équipés du GSM-R et les conversations ont été enregistrées.

2.3. PERTES HUMAINES, BLESSÉS ET DOMMAGES MATÉRIELS

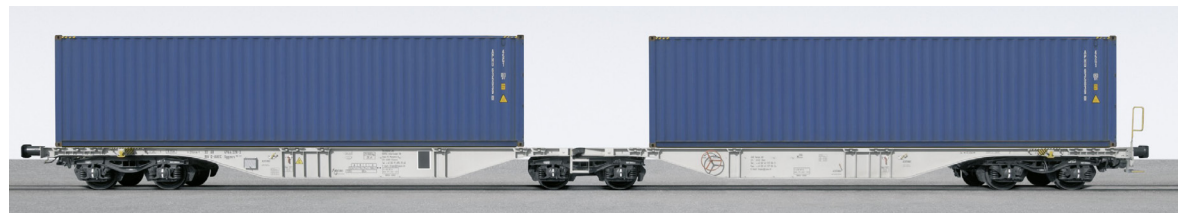
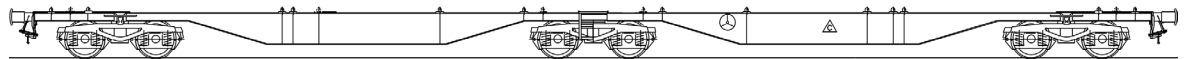
2.3.1. PASSAGERS, PERSONNEL ET TIERS

Aucune victime n'est à déplorer.

2.3.2. MATÉRIEL ROULANT

L'avant dernier et le dernier wagon sont les 2 wagons ayant déraillé.

Ces wagons sont 2 wagons de type Sggmrs, wagons articulés à 3 bogies pouvant transporter divers types de fret (containers, citernes, ...).



Le propriétaire et l'ECM de ces wagons sont la société VTG.

Photos du dernier wagon (n° 3180 4953 746-3) :



Photos de l'avant dernier wagon (n° 3368 4952 072-9) :



2.3.3. INFRASTRUCTURE

Aucun dégât à des tiers ou à l'environnement n'est relevé. Les dégâts à l'infrastructure sont par contre très importants et s'étendent sur 14 km environ. Les éléments suivants ont été touchés et ont nécessité des réparations :

- traverses;
- installations aux passages à niveau;
- crocodiles et balises TBL1+;
- aiguillages;
- CV.



3. COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS ET ENQUÊTES

3.1. RÉSUMÉ DES TÉMOIGNAGES

3.1.1. CONDUCTEUR DU TRAIN 40378

Suite à la discussion avec le conducteur du train 40378 après l'accident, il a confirmé ne pas avoir remarqué le problème du wagon situé à l'arrière de son train durant le trajet depuis Virton jusqu'à Aubange. Ce n'est que lorsqu'il a constaté la perte d'air (concomitamment avec l'appel du poste de signalisation de Bertrix et l'alarme GSM-R lancée par le Traffic Control) qu'il a dû arrêter son train.

3.1.2. AUTRES TÉMOIGNAGES

Dans le cadre de cette enquête :

- l'OE a participé à des réunions de la Task Force «Broken wheels» organisées par le JNS (cf 2.1.5);
- l'OE a organisé diverses réunions auxquelles ont pris part divers intervenants de VTG.

Des échanges et discussions avec des experts et des gestionnaires du matériel roulant ont eu lieu et ont été intégrés dans les études et analyses de la présente enquête.

3.2. SYSTÈME DE GESTION DE SÉCURITÉ

3.2.1. INTRODUCTION

Rapidement, l'enquête a permis de déterminer que le wagon déraillé avait subi une modification des semelles de freins.

Nous avons fait appel à une expertise externe pour analyser le contexte dans lequel les modifications apportées au wagon sont intervenues : références techniques et réglementaires, date de mise en œuvre, entité en charge de la maintenance (ECM), éléments impactés par ces changements.

Une attention particulière a été accordée au changement des semelles de frein en fonte par des semelles en matière composite ainsi qu'au changement d'ECM.

3.2.2. PRINCIPE D'HOMOLOGATION / D'AUTORISATION DE MISE EN SERVICE D'UN WAGON

La terminologie «homologation» n'est plus utilisée. On parle plutôt «d'autorisation de mise en service», voire «d'autorisation de mise sur le marché» dans la perspective de la mise en œuvre du 4^{ème} paquet ferroviaire¹³.

3.2.2.1. AVANT LE 01/07/2006

Avant le 01/07/2006, le RIV (*Regolamento Internazionale dei Veicoli* - Réglementation Internationale des Wagons) réglait l'emploi réciproque des wagons en trafic international.

Le RIV était un accord conclu en 1922 entre les opérateurs ferroviaires historiques des pays européens. Le RIV définissait les spécifications techniques auxquelles les wagons devaient satisfaire pour assurer un service international (en faisant notamment référence à des fiches UIC) : les wagons conformes à ces spécifications se voyaient appliquer une inscription RIC¹⁴ et pouvaient être utilisés en service international sans autorisation particulière.

Jusqu'en 2006, l'entreprise ferroviaire nationale historique (la SNCB¹⁵ en Belgique) supervisait la construction de ses wagons de marchandises (appelés wagons «R») en suivant les fiches UIC comme règles internationales en vigueur et de règles supplémentaires qu'elle s'imposait.

Ainsi, les immatriculations et autres autorisations de mise en service de wagons appartenant à des sociétés privées (appelés wagons «P») étaient gérées par les sociétés historiques nationales des chemins de fer.

Le RIV et les contrats d'immatriculations (fiche UIC 433) régissaient dans le détail la vie du wagon depuis sa mise en service jusqu'à sa radiation. Ainsi, les acteurs ferroviaires pouvaient connaître précisément les règles à appliquer. Les spécifications techniques publiées par la SNCB concernant l'immatriculation des wagons P étaient reprises dans le document «Spécifications techniques SNCB pour wagons de particuliers – Edition 1995».

¹³ Pour ouvrir à la concurrence les activités ferroviaires, la Commission Européenne a travaillé par étapes :

1. définition, au sein du «1er paquet ferroviaire», des fonctions essentielles et annonce de l'intention d'ouvrir à la concurrence le fret international;
2. libéralisation effective du fret («2^{ème} paquet ferroviaire»);
3. ouverture à la concurrence du transport international de voyageurs au travers du «3^{ème} paquet ferroviaire»;
4. afin de parachever l'espace ferroviaire unique européen, la libéralisation complète devrait être réalisée au travers du «4^{ème} paquet ferroviaire», un ensemble de 5 textes composant le pilier «technique» (Agence ferroviaire européenne, interopérabilité et sécurité ferroviaire) et le volet «marché» (gouvernance des acteurs et ouverture à la concurrence du transport de voyageurs).

¹⁴ RIC = Regolamento Internazionale delle Carrozze = Accord sur l'échange et l'emploi des voitures en trafic international = règlement pour l'emploi réciproque des voitures et des fourgons en trafic international, issu de l'accord de 1922 entre pays européens. En 1982, le RIC a été placé sous l'autorité de l'Union internationale des chemins de fer (UIC).

¹⁵ La SNCB à l'époque regroupait tant les activités du gestionnaire d'infrastructure que les activités de l'entreprise ferroviaire actuels.

Une fois le wagon construit, son entretien devait être effectué dans un atelier agréé par ladite entreprise ferroviaire historique selon les règles qu'elle avait édictée, conformément aux bonnes pratiques de contrôle et d'entretien. Il n'existait pas de règles harmonisées portant sur cet entretien, à l'exception d'un nombre de règles minimales édictées dans le RIV pour les échanges internationaux entre les entreprises ferroviaires nationales de l'époque.

3.2.2.2. 01/07/2006

Une nouvelle mouture¹⁶ de la convention relative aux transports internationaux ferroviaires entre en vigueur au 1^{er} juillet 2006 : il s'agit de la Convention relative aux transports internationaux ferroviaires (COTIF 1999), établie par l'Organisation intergouvernementale pour les transports internationaux ferroviaires (OTIF).

La mission de l'OTIF est d'établir des règles juridiques communes pour le transport international ferroviaire de personnes et de marchandises entre ses Etats membres.

Cette mouture de la COTIF définit notamment :

- en son appendice B, les «Règles uniformes concernant le contrat international ferroviaire de marchandises» (CIM) ;
- en son appendice D, les «Règles uniformes concernant l'utilisation de véhicules en trafic international ferroviaire» (CUV).

Pour limiter la multitude des accords bilatéraux qui devaient être conclus entre tous les utilisateurs de wagons et toutes les entreprises ferroviaires, les acteurs du secteur ont tenu des réunions dès 2002/2003 pour définir le Contrat Uniforme d'Utilisation des wagons (CUU ou GCU en anglais) qui serait utilisable dès l'entrée en vigueur de la convention internationale COTIF 1999. Ces acteurs sont :

- les entreprises ferroviaires historiques (à travers l'UIC) ;
- les nouveaux entrants (à travers l'ERFA¹⁷) ;
- les propriétaires de wagon (à travers l'UIP).

Le CUU est un contrat multilatéral de droit privé, tenant compte de la convention internationale COTIF 1999 et de son appendice CUV. Le CUU énonce les droits et obligations mutuels (y compris techniques) des détenteurs de wagons et des entreprises ferroviaires (EF) lors de l'utilisation de wagons comme un moyen de transport en Europe (et au-delà). Il n'y a d'ailleurs plus de distinction entre détenteurs, qu'ils soient entreprise ferroviaire historique ou privé. Les annexes techniques au CUU sont largement inspirées du RIV.

Le RIV et les contrats d'immatriculation ont donc été remplacés le 01/07/2006 par ce Contrat Uniforme d'Utilisation des wagons.

Antérieurement, dans le cadre des contrats d'immatriculation, l'EF «immatriculatrice» était le seul interlocuteur du titulaire du wagon, et ce, quel que soit le lieu où circulait le wagon et quelle que soit l'EF sous la garde de laquelle se trouvait le wagon.

Dans le cadre du CUU, le seul interlocuteur du détenteur du wagon est donc l'EF «utilisatrice», et ce, quel que soit l'Etat où le wagon a été enregistré. De même, le seul interlocuteur de l'EF «utilisatrice» est uniquement le détenteur qui, conformément à l'appendice CUV de la COTIF 1999, n'est plus obligé d'enregistrer ses wagons auprès d'une entreprise ferroviaire.

¹⁶ La convention initiale avait été signée le 09/05/1980.

¹⁷ ERFA = European Rail Freight Association. L'ERFA a été créée à Bruxelles en 2002 par quelques nouveaux opérateurs ferroviaires de fret (sociétés européennes privées et indépendantes), dans le but de soutenir la vision européenne d'un marché ferroviaire libéralisé.

Parallèlement, la volonté politique de libéraliser le secteur ferroviaire dans l'Union Européenne continue de se concrétiser notamment par l'entrée en vigueur de :

- la Directive 2001/16/CE¹⁸ du Parlement européen et du Conseil du 19 mars 2001 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel;
- la Décision 2006/861/CE relative à la spécification technique d'interopérabilité concernant le sous-système «Matériel roulant - wagons pour le fret» du système ferroviaire transeuropéen conventionnel.

Par la Décision 2006/861/CE, la Commission arrête la spécification technique d'interopérabilité (STI) relative au sous-système «Matériel roulant - wagons pour le fret» du système ferroviaire transeuropéen conventionnel visée à l'Art. 6 §1 de la Directive 2001/16/CE.

Même si elles se réfèrent parfois encore à des fiches UIC, les STI ont un champ d'action plus large et sont appelées à remplacer progressivement la réglementation de l'UIC à l'intérieur de l'Union Européenne.

Une STI implique l'intervention d'un organisme notifié (Notified Body en anglais, NoBo) qui statue selon des modules définis sur la conformité technique du sous-système (ou du constituant) vis-à-vis de la STI.

Cet organisme indépendant doit se prononcer sur une conformité à un référentiel applicable aux wagons avant de pouvoir autoriser une mise en service.

L'octroi de cette autorisation de mise en service demeure néanmoins la responsabilité de chaque Etat membre, comme indiqué dans la Directive 2001/16/CE (Art.14 §1).

La transformation de wagons de marchandises est soumise aux mêmes exigences que la construction de nouveaux wagons s'il est impératif de solliciter une nouvelle immatriculation et une autorisation de mise en service conformément aux critères de la Directive 2001/16/CE (Art.14 §1). L'état membre doit donc statuer au regard des STI si l'importance des travaux nécessite une nouvelle mise en service. Une nouvelle mise en service est de toute façon nécessaire chaque fois que le niveau de sécurité peut être affecté par les travaux envisagés.

En Belgique, l'autorisation est octroyée par le ministre (compétent pour le transport ferroviaire) ou son délégué (cf. Art.23 § 2 de l'AR du 15/05/2003) sur base du «dossier technique» et munis de la déclaration «CE» de vérification établie selon les prescriptions données (et donc sur base de l'attestation de conformité établie par le NoBo).

Le SSICF, Autorité Nationale de Sécurité belge, a été créé suite à la transposition du deuxième paquet ferroviaire de l'Union européenne dans le droit belge. Le statut et les missions légales de cet organisme ont été fixés par la législation belge (dont la loi du 19/12/2006 et l'arrêté royal du 16/01/2007).

C'est cette Autorité Nationale de Sécurité qui statue sur les autorisations de mises en service.

D'autre part, la Décision 2006/861/CE mentionne en son point 4.2.8 que «après livraison par le fournisseur du matériel roulant et après son acceptation, une entité unique assumera la responsabilité de la maintenance et la gestion du plan de maintenance».

C'est un premier pas vers l'ECE (Entité en Charge de l'Entretien ou Entity in Charge of Maintenance en anglais (ECM)).

¹⁸ La directive a pour objet d'établir les conditions qui doivent être satisfaites pour réaliser, au sein du territoire communautaire, l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel tel qu'il est décrit à l'annexe I de la directive. Ces conditions concernent la conception, la construction, la mise en service, le réaménagement, le renouvellement, l'exploitation et la maintenance des éléments de ce système qui seront mis en service après la date d'entrée en vigueur de la directive, ainsi que les qualifications professionnelles et les conditions de santé et de sécurité du personnel qui contribue à son exploitation et à sa maintenance. La poursuite de cet objectif doit conduire à la définition d'un niveau optimal d'harmonisation technique et permettre: de faciliter, d'améliorer et de développer les services de transport ferroviaire international au sein de l'Union européenne et avec les pays tiers; de contribuer à la réalisation progressive du marché intérieur des équipements et services de construction, renouvellement, réaménagement et fonctionnement du système ferroviaire transeuropéen conventionnel; de contribuer à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen conventionnel.

Pour anticiper la mise en œuvre du Règlement UE 445/2011, la Belgique et 9 autres états¹⁹ signent un Memorandum of Understanding le 14/05/2009; ce MoU pose les principes de base d'un système commun de certification des entités en charge de la maintenance des wagons fret.

3.2.2.3. 2008

En 2008, les notions de «détenteur» et d'Entité en Charge de la Maintenance (ECM) font officiellement leur entrée via la modification apportée à la Directive 2004/49/CE sur la sécurité ferroviaire par la Directive 2008/110/CE :

- Le détenteur : la personne ou l'entité propriétaire du véhicule ou disposant d'un droit de disposition sur celui-ci, qui exploite ledit véhicule à titre de moyen de transport et est inscrite en tant que telle au registre national des véhicules (RNV) prévu à l'article 33 de la Directive 2008/57/CE ;
- L'ECM ou «entité chargée de l'entretien» est une entité chargée de l'entretien d'un véhicule et inscrite en tant que telle dans le registre national des véhicules.

L'ERA met sur pied un ECVVR (European Centralized Virtual Vehicle Register) permettant d'établir le lien entre les différents registres nationaux et leur consultation moyennant un accès limité.

3.2.2.4. 2009

En 2009, le Règlement 352/2009/CE traitant de la gestion des risques liés aux changements est adopté. Il concerne l'adoption d'une méthode de sécurité commune relative à l'évaluation et à l'appréciation des risques.

Ce règlement ne concerne pas les ECM mais il s'applique aux EF et aux GI. Le cas échéant, ces derniers sont en charge de répercuter les exigences liées à la sécurité sur la construction ou la modification de nouveaux wagons.

3.2.2.5. 2011

Publication du Règlement UE 445/2011 relatif à la certification des ECM devenant obligatoire pour les wagons de fret au plus tard le 31/05/2013.

3.2.2.6. 2013

Note : En 2011, l'UE a adhéré à la COTIF et depuis le 24/10/2013 un accord existe en la COTIF et l'UE pour aligner leurs réglementations.

Pour les nouveaux wagons, les principes établis en 2006 sont toujours les mêmes. Les dispositions pratiques sont quant à elles créées ou mises à jour (par exemple, les STI).

Dans le cas d'un changement apporté à un wagon précédemment autorisé, le Règlement 402/2013/UE²⁰ doit être appliqué, tant par le détenteur que par l'ECM.

Depuis le 31/05/2013, toutes les ECM opérant pour les wagons de marchandises doivent obligatoirement être certifiées.

La certification de ces organismes peut se faire de diverses façons (en fonction du choix des Etats membres qui doit être communiqué à la Commission). Elle peut passer par :

- l'accréditation émise par l'organisme d'accréditation de l'Etat membre ;
- la reconnaissance de l'Etat membre ;
- l'attribution de cette prérogative par l'Etat membre à l'autorité nationale de sécurité.

¹⁹ Le MoU est signé par les états suivants : Autriche, Belgique, France, Allemagne, Grèce, Hongrie, Italie, Luxembourg, Pays-Bas et Roumanie.

²⁰ Evolution du Règlement 352/2009/CE.

Quel que soit le moyen utilisé pour certifier l'organisme, les critères à prendre en compte sont définis à l'annexe II du Règlement 445/2011/UE.

Le demandeur est libre de choisir l'organisme de certification (Règlement 445/2011/UE – Art. 6).

3.2.2.7. VERS LA PLEINE APPLICATION DU 4^{ÈME} PAQUET FERROVIAIRE

Le pilier technique du 4^{ème} Paquet Ferroviaire²¹ se compose de trois textes adoptés en date du 11/05/2016 :

- la Directive 2016/797 liée à l'interopérabilité du système ferroviaire au sein de l'Union européenne ;
- la Directive 2016/798 relative à la sécurité ferroviaire ;
- le Règlement 2016/796 sur l'Agence ferroviaire européenne (AFE).

L'objectif global de ces mesures est de permettre aux opérateurs ferroviaires et aux fabricants de matériels roulants de gagner du temps et d'économiser des ressources lorsqu'ils introduisent respectivement une demande de certification en matière de sécurité ou d'autorisation de mise sur le marché d'un véhicule.

Pour cela, un rôle accru est accordé à l'ERA, qui se voit habilitée à délivrer :

- des autorisations de mise sur le marché aux industriels
- et des certifications en matière de sécurité aux opérateurs.

En effet, aujourd'hui, les fabricants et les opérateurs doivent introduire une demande auprès des autorités de chacun des pays dans lesquels ils travaillent.

Après l'entrée en vigueur de ces nouvelles règles, les opérateurs ferroviaires qui souhaiteront exercer leurs activités dans plusieurs Etats membres pourront bénéficier d'un système de guichet unique auprès de l'ERA. Ce guichet unique devra fonctionner au plus tard à compter du 16/06/2019 et sera le seul point de contact pour l'UE à partir du 16/06/2020 pour les autorisations de mise sur le marché d'un véhicule.

Le demandeur ne pourra mettre un véhicule sur le marché qu'après avoir reçu une autorisation de mise sur le marché de l'agence (ou l'Etat si le domaine d'utilisation se limite à cet Etat).

En cas de renouvellement ou de réaménagement de véhicules existants qui sont déjà munis d'une autorisation de mise sur le marché, une nouvelle autorisation sera requise dans certains cas définis dans la Directive 2016/797/UE.

²¹ La transposition en Belgique des directives 2016/797 et 2016/798 aura lieu au plus tard pour le 16 juin 2020.

3.2.3. LES SEMELLES DE FREIN

3.2.3.1. LE POURQUOI DU CHANGEMENT DES SEMELLES DE FREIN

Le bruit est depuis longtemps un des points d'attention du secteur ferroviaire. Il y a une prise de conscience croissante de l'impact du bruit ferroviaire sur la santé publique, ce qui a entraîné :

- une pression de la part des riverains des lignes ferroviaires, des gouvernements et des organisations de santé pour une atténuation accrue du bruit ;
- des coûts supplémentaires pour isoler les abords des voies (atténuation des nuisances sonores) ;
- des demandes de limites de disponibilité / capacité ;
- des résistances à l'expansion du réseau.

Des développements de nouvelles stratégies et technologies pour la gestion du bruit ont vu le jour au sein du secteur. L'une d'entre elle consiste à adoucir le contact rail/roue (principe «roues lisses sur rails lisses»).

Par ses techniques de freinage, le trafic de marchandises est particulièrement impliqué dans la recherche de solution : les semelles²² de frein frottent directement sur la bande de roulement de la roue du wagon et l'impact du freinage sur la rugosité de la roue est une composante essentielle dans ce contact rail/roue.

Depuis des décennies, les semelles de frein des wagons de marchandises sont en fonte : leur influence sur l'acier des roues est peu nocive mais ces semelles souffrent d'une usure assez forte et entraînent des modifications de la surface de roulement des roues sur lesquelles elles sont appliquées.

En 1998, l'Union internationale des chemins de fer (UIC), en collaboration avec CER²³ et l'UIP²⁴, a lancé le «Programme d'actions pour la réduction du bruit du trafic de trains de marchandises».

Des études se sont orientées vers d'autres matériaux, dont les matériaux composites. Ces semelles allient des mélanges de poudre de métal et d'autres additifs. Ces recherches ont pour but d'obtenir des semelles de frein plus performantes et qui polissent la roue lors du freinage. En combinaison avec des rails lisses, ceci permet de réduire le bruit de roulement d'environ 10 dB, ce qui signifie une réduction de moitié le bruit ressenti.

Deux solutions techniques sont développées : des semelles composites de type K ou de type LL²⁵. L'utilisation de ces nouveaux matériaux amènent cependant des comportements différents pour les roues des wagons et des études, des analyses et des campagnes d'essai ont été menées avant d'homologuer ces nouveaux types de semelle.

Les semelles de type K ont été homologuées au cours de l'année 2003.

En 2006, la spécification technique d'interopérabilité (STI) relative au sous-système «bruit» du réseau ferroviaire transeuropéen conventionnel est définie dans l'annexe de la Décision 2006/66/CE de la Commission européenne. La STI exige que le matériel roulant de fret nouvellement homologué soit équipé de blocs K.

Les semelles K amènent un coefficient de friction plus élevé que les semelles en fonte et demandent donc une adaptation spécifique du système de freinage : ceci ne représente pas une solution économiquement réalisable pour la modernisation de la flotte existante en raison des efforts (adaptation du matériel roulant) et coûts élevés.

Les semelles LL semblent représenter une solution viable pour le rééquipement (*retrofitting*) de la flotte existante car leur coefficient de friction est identique aux semelles fonte (pas de nécessité d'adaptation spécifique du système de freinage). En 2006, elles sont encore en cours de développement et de test et doivent encore être homologuées (processus décrit ci-après).

²² Les termes «semelles» et «blocs» sont utilisés.

²³ CER = Communauté Européenne du Rail = groupement rassemblant des entreprises ferroviaires et des gestionnaires d'infrastructures ferroviaires, issus des pays de l'Union européenne ainsi que de la Suisse et de la Norvège.

²⁴ UIP = Union internationale des propriétaires de wagons.

²⁵ LL = Low friction Low noise.

3.2.3.2. HOMOLOGATION DES SEMELLES DE FREIN LL

Un groupe de travail au niveau de l'UIC fournit une expertise technique pour approuver une ou plusieurs semelles de type LL.

Deux obstacles majeurs concernent les semelles LL :

- Les semelles de frein LL ne sont pas définies dans la STI, ce qui nécessite une acceptation des wagons équipés de semelles de frein LL par les Autorités Nationales de Sécurité (NSA)
L'UIC propose :
 - une discussion avec chaque NSA individuellement,
 - une discussion avec l'agence européenne ERA pour obtenir une aide et
 - la création d'un certificat «UIC wagon certificate».
- Il est difficile de trouver une solution pour de nouvelles semelles à l'aide des bancs d'essai. Les tests sur banc d'essai ne sont pas parfaitement adaptés pour simuler, analyser et prédire les modèles d'usure des roues. Les résultats obtenus lors des tests intensifs des semelles de frein LL en bancs d'essais sont très différents des résultats observés lors des différents tests en service. Les semelles LL testées semblent avoir un coefficient de friction élevé. En conséquence, une variation de la conicité équivalente²⁶ de la roue pourrait en résulter et modifier la zone de contact bloc/roue.

Il était donc nécessaire d'effectuer davantage de tests en service.

En décembre 2010, l'UIC démarre le projet «EuropeTrain», dans le but :

- d'évaluer le comportement à long terme de diverses configurations de semelles de frein LL ;
- d'accélérer le processus d'homologation des semelles de frein LL.

Une nouvelle édition de la fiche UIC 541-4 a été produite et reprend des compléments de test.

L'UIC recommande :

- que le processus d'homologation des types de blocs soit prolongé pour les trois années suivantes ;
- que pour chaque combinaison de type wagon et bloc, des essais de glissement soient effectués pour confirmer la performance de freinage ;
- que la conicité équivalente soit surveillée en fonctionnement ;
- que toutes les données d'essai en matière de sécurité, de rentabilité et de performances soient fournies à l'UIC.

Les opérations de mesures du projet «EuropeTrain» ont pris fin en septembre 2012 : plus de 200.000 km ont été parcourus par 16 trains sur la base de 5 boucles différentes avec des conditions climatiques, topographiques et opérationnelles très différentes.

Des mesures statiques et en ligne pour définir la stabilité de certains wagons ont été réalisées.

Il a été constaté que l'utilisation de blocs LL entraîne une croissance de la conicité équivalente plus rapide qu'avec les blocs en fonte grise (évolution linéaire, même pour un kilométrage élevé). Ceci nécessiterait un reprofilage 2 fois plus fréquemment, soit tous les 100.000km (bien que ces chiffres dépendent des conditions d'utilisation).

L'UIC recommande un contrôle tous les 50.000 km et un reprofilage tous les 150.000 à 200.000 kilomètres.

Les semelles de type LL ont été homologuées²⁷ dans le courant de l'année 2013.

²⁶ Conicité équivalente : cf. Annexe 7.1

²⁷ Les blocs de frein dits interopérables sont repris dans la liste G en annexe à la STI Wagon (voir <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/CR-WAG-TSI.aspx>).

3.2.3.3. CONDITIONS D'INTERCHANGEABILITÉ DES SEMELLES

Les conclusions ainsi que les mesures et dispositions issues des essais du «Europe Train» ont été rassemblées dans des documents, dont :

- Document V-BKS(LL) valable à partir du 01/08/2013, directive d'application pour les semelles de frein composites LL, qui définit l'équipement (partie 1), l'exploitation, la surveillance et la maintenance (partie 2) des wagons qui sont dotés de semelles composites de type LL au sens de la fiche UIC 541-4, certifiées conformément à la fiche UIC 540-00 ;
- Fiche UIC 518 «Essais et homologation de véhicules ferroviaires du point de vue du comportement dynamique - Sécurité - Fatigue de la voie - Qualité de marche».

Ces documents définissent les conditions à remplir par le matériel roulant pour que les semelles en fonte grise puissent être remplacées par des semelles LL (voir ci-après). Ils rassemblent également les mesures de surveillance du matériel roulant (voir 3.2.4).

Ci-dessous sont repris les extraits du document V-BKS(LL), pertinents dans le cadre de cette enquête.

Configuration du frein des wagons

Les performances de freinage sont configurées pour des semelles en fonte grise. [...].

Le calcul du frein peut, en alternative, être réalisé selon l'Annexe I de la fiche UIC 544-1.

Le champ d'application technique (valeurs de références) des semelles LL se définit comme suit :

- Vitesse maximum = 120 km/h²⁸ ;
- Charge maximum par essieu 22,5 t ;
- Sabots de frein de configuration 2xBg ou 2xBgu ;
- Périmètre de déploiement : toutes lignes de l'espace UIC jusqu'à une déclivité de 40°/00.

On peut se dispenser d'essais en cas d'installation de semelles LL, dès lors que les conditions ci-après sont remplies :

- Vitesse maximum < 120 km/h²² ;
- Charge maximum par essieu 22,5 t ;
- Roues freinées de part et d'autre (bilatéral) d'un diamètre nominal compris entre 920 et 1000 mm ;
- Sabots de frein de type Bg ou Bgu ;
- Effort dynamique par sabot de 6 à 50 kN dans la configuration Bgu.

Inscriptions relatives au frein

Conformément aux dispositions de la norme EN 15877-1 :2012, chapitre 4.5.30.2.10, les wagons équipés de semelles composites LL doivent, en outre, être marqués d'un LL (entouré d'un cercle) placé immédiatement à droite de l'inscription relative au type de frein.

Semelles composites (LL) - Types et utilisations

Les produits entièrement homologués sont repris dans l'Annexe M3 de la fiche UIC 541-4 (4^{ème} édition).

Organes de frein

- Les organes existants du système pneumatique et mécanique de freinage correspondent aux organes présents avec les semelles en fonte grise.
- Pour les wagons ayant un diamètre de roue entre 920 mm et 1000 mm (compris) et caractérisés par une performance de freinage supérieure à 15 t (14,5 t plus 5%) par essieu, l'utilisation de valves à courbe infléchie²⁹ est obligatoire.
- Les porte-semelles et les semelles ne sont pas munis des caractéristiques de détrompage conformes aux fiches UIC 544-1 (porte-semelles) et 541-4 (semelle).
- En cas d'utilisation de semelles de matériaux différents sur un véhicule, chaque essieu monté au moins doit être équipé de semelles constituées du même matériau.

Essieux/roues à utiliser

Un premier équipement en semelle LL doit, de préférence, être effectué avec montage de roues reprofilées.

Roues monobloc selon norme EN 13979 - 1 / fiche UIC 510-5

Toutes les roues monobloc satisfaisant aux conditions de la norme EN 13979-1, y compris le document d'application : fiche 510 – 5 peuvent être utilisées.

Roues monobloc existantes

Sont admis tous les types de roues monobloc existants sauf cependant les roues constituées en matériaux R2, BV2, R8, R9.

²⁹ La valve à courbe infléchie est une soupape supplémentaire pour le freinage sous charge qui est simplement fixée à la soupape de commande KE. Dans les trains de marchandises constitués de wagons présentant des performances de freinage différentes, ce dispositif assure un freinage uniforme en fonction des exigences de charge et de freinage et peut réduire considérablement les températures de surface. La soupape prend tout son sens lors de longues descentes.

3.2.4. MONITORING DU MATÉRIEL ROULANT

Un monitoring systématique devrait fournir l'assurance aux intervenants que tous les risques identifiés sont efficacement contrôlés et que les exigences du SGS sont respectées. Il fournit la base pour définir toute action nécessaire pour améliorer ou maintenir le niveau de sécurité ciblé.

Après avoir installé les semelles LL sur un wagon, certaines conditions de surveillance sont prévues par l'UIC (V-BKS LL).

3.2.4.1. SURVEILLANCE DES SEMELLES DE FREIN

La maintenance des véhicules équipés de semelles composites LL est effectuée de la même manière que pour les véhicules équipés de semelles en fonte grise (c-à-d selon le CUU).

Le *Catalogue d'avaries Semelles composites* contient des indications permettant d'évaluer les semelles.

3.2.4.2. SURVEILLANCE DES ROUES

Conformément à la fiche UIC 510-2, il convient de respecter, pour les roues, les dispositions suivantes :

- la surveillance des roues en service est effectuée conformément aux dispositions du CUU ;
- tous les essieux des wagons équipés de semelles composites LL sont soumis à une vérification spéciale à l'occasion de chaque passage en atelier. L'évaluation de l'état et le traitement des roues sont effectués conformément au CUU ou à la fiche UIC 510-2 et en conformité à la procédure décrite dans la Directive de construction pour les semelles composites K :
 - présence de caractéristiques visibles indiquant une surcharge thermique (par ex. des brûlures nettes et nettement délimitées de la peinture au-dessous de la jante, des jantes de couleur bleuâtre, des apports de métal) ;
 - une usure forte ou non homogène ;
 - des avaries sur la table de roulement et des criques thermiques.

3.2.4.3. SURVEILLANCE DES PROFILS DE ROUE

A partir des résultats du document UIC B126/RP43, on énonce les recommandations générales suivantes pour le système de semelles composites(LL) :

Exigences générales (obligatoire) :

1. la conicité équivalente (paramètre pertinent pour caractériser les conditions de contact) ne peut excéder la valeur de 0,403 ;
2. les profils de roue doivent être suivis à intervalles réguliers.

Pour remplir ces exigences

On peut par exemple mettre en œuvre les mesures suivantes :

1. il faut utiliser une épaisseur nominale réduite de boudin inférieure ou égale à 30,50 mm (profil de roue EN 13715 – S1002) ;
2. si l'on utilise des roues à boudin étroit (voir point 1) au lieu de déterminer la conicité équivalente, il est possible d'appliquer une valeur limite réduite en service de 32 mm pour la hauteur du boudin et une valeur limite d'inspection de la hauteur de boudin de 31 mm ;
3. la première inspection suivant le reprofilage doit intervenir au bout de 100.000 km et ensuite tous les 50.000 km ;
4. si les semelles LL sont remontées sur des roues non reprofilées, la première inspection doit intervenir juste après le reprofilage. La valeur de la conicité équivalente ou le paramètre de hauteur du boudin utilisé à défaut doit répondre aux exigences susmentionnées (points 1 à 3). L'inspection suivante doit avoir lieu au bout de 50.000 km et ensuite tous les 50.000 km. Si l'on applique une épaisseur nominale de boudin plus élevée ou des types de profil de roue différents, il faut resserrer les pas d'inspection en fonction de l'évaluation du risque par l'ECM.

Partant de leur expérience particulière et d'une évaluation correspondante des risques, les ECM ont la possibilité d'adapter ces exigences.

3.2.4.4. VISITE TECHNIQUE D'ÉCHANGE

La «visite technique d'échange» est définie dans le CUU et désigne :

- l'exécution d'une visite technique de remise par l'EF cédante ;
- l'exécution d'une visite technique d'acceptation par l'EF cessionnaire ;
- une visite technique exécutée en dehors du lieu de remise (réalisée par l'EF cédante).

La visite technique d'échange est effectuée par le personnel qualifié et consiste à vérifier la sécurité d'exploitation des wagons et leur aptitude à circuler ainsi qu'à constater des anomalies reconnaissables ou définies à l'Appendice 1 (Catalogue d'anomalies) du CUU et à prendre les mesures nécessaires. Pour constater les anomalies, le personnel qualifié doit remonter le train le long de ses deux côtés et vérifier soigneusement chaque wagon.

3.3. RÈGLES ET RÉGLEMENTATION

3.3.1. RÈGLES ET RÉGLEMENTATION PUBLIQUE COMMUNAUTAIRE ET NATIONALE APPLICABLES

3.3.1.1. DIRECTIVES EUROPÉENNES

- Directive 2004/49/CE du Parlement Européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant la sécurité des chemins de fer communautaires ;
- Décision 2006/66/CE de la Commission du 23 décembre 2005 relative à la spécification technique d'interopérabilité concernant le sous-système «Matériel roulant - bruit» du système ferroviaire transeuropéen conventionnel ;
- Directive 2008/57/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire au sein de la Communauté ;
- Décision 2012/462/CE de la Commission du 23 juillet 2012 modifiant les décisions 2002/731, 2002/732, 2002/733, 2002/735 et 2006/66 et abrogeant la décision 2002/730 relative aux spécifications techniques d'interopérabilité.

3.3.1.2. LÉGISLATION BELGE

- Loi du 30 août 2013, portant le Code ferroviaire.

3.3.2. AUTRES RÈGLES, TELLES QUE LES RÈGLES D'EXPLOITATION, LES INSTRUCTIONS LOCALES, LES EXIGENCES APPLICABLES AU PERSONNEL, LES PRESCRIPTIONS D'ENTRETIEN ET LES NORMES APPLICABLES

3.3.2.1. UIC

Diverses fiches UIC sont les références techniques :

- 421 : Règles de composition et de freinage des trains de fret en trafic international ;
- 472 : Bulletin de freinage et liste de composition des trains internationaux de marchandises ;
- 510-5 : Homologation technique des roues monobloc - Document d'application de la norme EN 139791 ;
- 541-1 : Frein - Prescriptions concernant la construction des différents organes de frein ;
- 541-4 : Frein - Freins avec semelles de frein en matériau composite - Evaluation de conformité - Conditions générales ;
- 544-1 : Freins - Performance de freinage ;
- Question UIC 5-110 : Réduction du bruit - Equipement des wagons en semelles de frein composites - Directive d'application pour les semelles de frein composites LL.

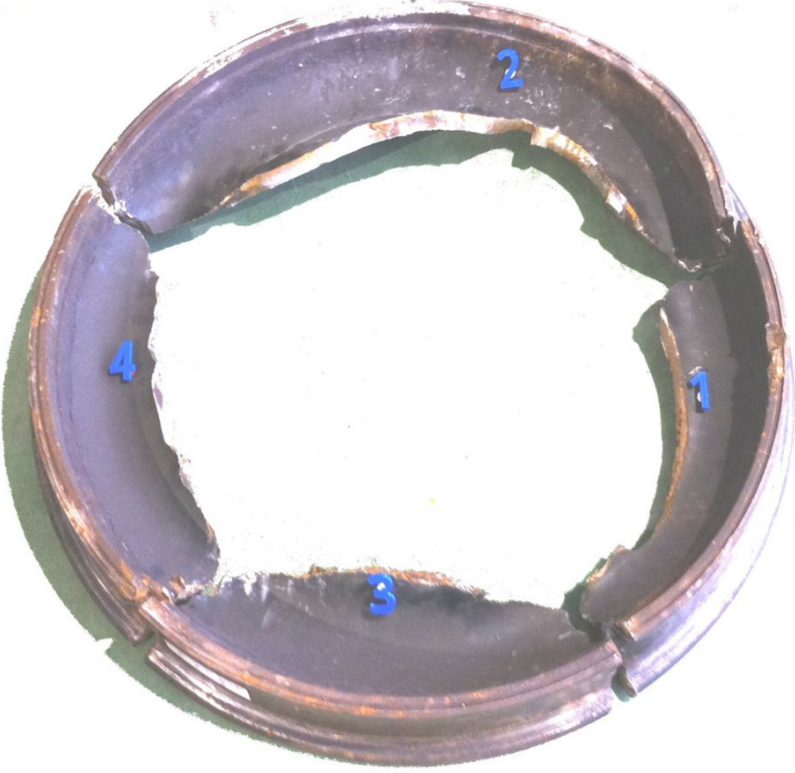
3.4. FONCTIONNEMENT DU MATÉRIEL ROULANT ET DES INSTALLATIONS TECHNIQUES

3.4.1. INFRASTRUCTURE

Rien d'anormal n'a été constaté par l'OE au niveau de la voie : les dégâts observés sont des conséquences de l'accident.

3.4.2. MATÉRIEL ROULANT : LES ROUES

Lors de l'inspection de la voie sur le trajet parcouru par le train, 4 fragments de roue ont été retrouvés à différents endroits du parcours : à eux 4, ces morceaux constituent la jante de la roue droite (dans le sens de circulation) de l'essieu 3-3' du wagon.

Fragment n°	Borne Kilométrique (BK)	
1	127.800	
2	127.000	
3	124.000	
4	124.000	

Le train circule dans le sens croissant des bornes kilométriques : les fragments 3 et 4 se sont détachés en premier, suivi par le fragment 2, puis le fragment 1.

Ces fragments se sont détachés de la partie centrale (moyeu) de la roue. Cette partie centrale est restée calée sur l'axe de l'essieu. Traînée dans le ballast sur une distance de plus de 10 km, cette partie centrale de la roue a subi d'importants dommages et a été fortement déformée :

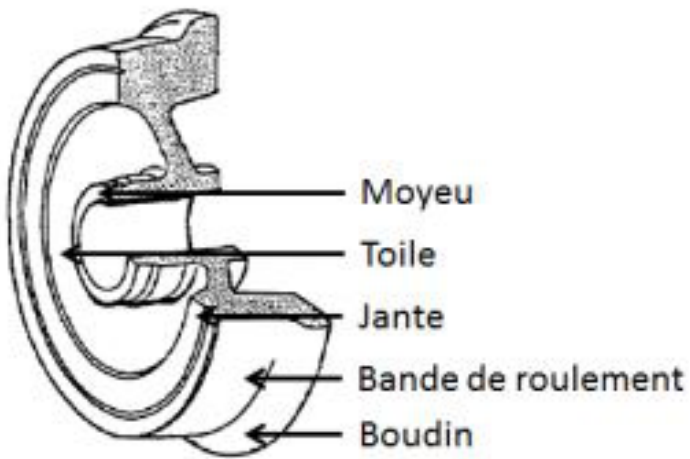


Vue du moyeu de la roue une fois l'axe démonté en atelier :



3.4.2.1. EXPERTISE DE LA ROUE ROMPUE

Références



Examen visuel

Compte tenu de l'endommagement de la jante, aucun relevé dimensionnel n'a été réalisé mais le diamètre de la roue est proche de la limite d'usure

La toile de la roue brisée est déformée et les faciès de rupture intégralement matés et oxydés. Les examens du moyeu et de la toile, de la partie encore calée sur l'axe, sont inexploitable.

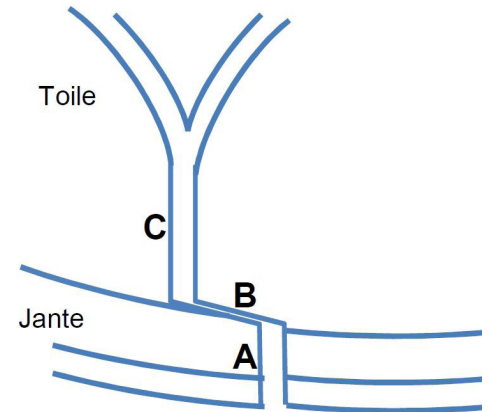
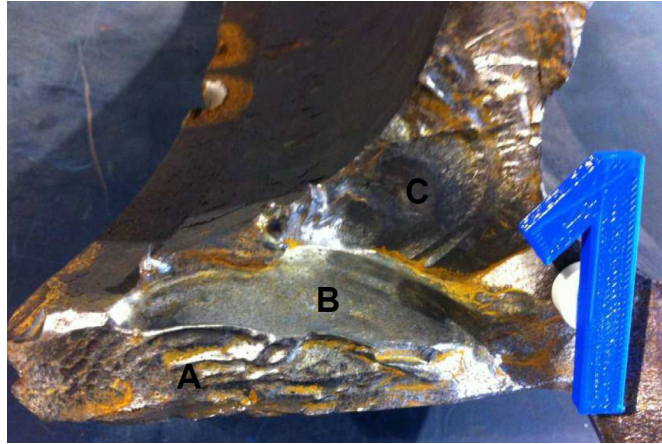
Sur les quatre fragments de roue, des marques d'échauffements importants sont observées au raccordement toile/jante côté face externe. La peinture est brûlée et la surface présente une importante oxydation.



Illustration sur les fragments 3 et 4 de la peinture brûlée et de l'oxydation.

Examen fractographique de la jante

Les faciès de rupture au niveau du fragment 1 se divise en trois zones :



- Zone A : plan radial (perpendiculaire à la table de roulement).

Elle s'étend du cercle de roulement jusqu'à la face latérale externe. Elle présente des «cernes», lignes frontales caractéristiques d'une évolution en fatigue.

Dans les roues, ce type de fissuration se propage sous les sollicitations thermomécaniques induites par le roulement et les cycles de freinage.

- Zone B : plan circonférentiel (parallèle à la table de roulement).

Plus fortement matée, on y distingue tout de même des lignes frontales caractéristiques d'une évolution en fatigue.

Dans les roues, ce type de fissuration se propage sous les sollicitations répétées du contact roue/rail au cours du service. Elles s'amorcent sur des défauts internes. Dans le cas présent, le défaut induisant l'amorçage est le front de la fissuration axiale.

- Zone C : plan axial (perpendiculaire à la table de roulement).

Elle présente également les lignes frontales caractéristiques d'une évolution en fatigue. Elles sont concentriques par rapport au point où la fissure de la zone B débouche dans le raccordement toile jante. Elle évolue ensuite dans la toile sous les sollicitations de service puis se réoriente progressivement selon le champ de contraintes dans la toile dans un plan à environ 45° par rapport au rayon de la roue.

Les faciès de rupture sur les autres fragments présentent les mêmes de zone.

Examen fractographique de la toile

Le faciès de rupture dans la toile du fragment 1 permet de distinguer 3 zones.

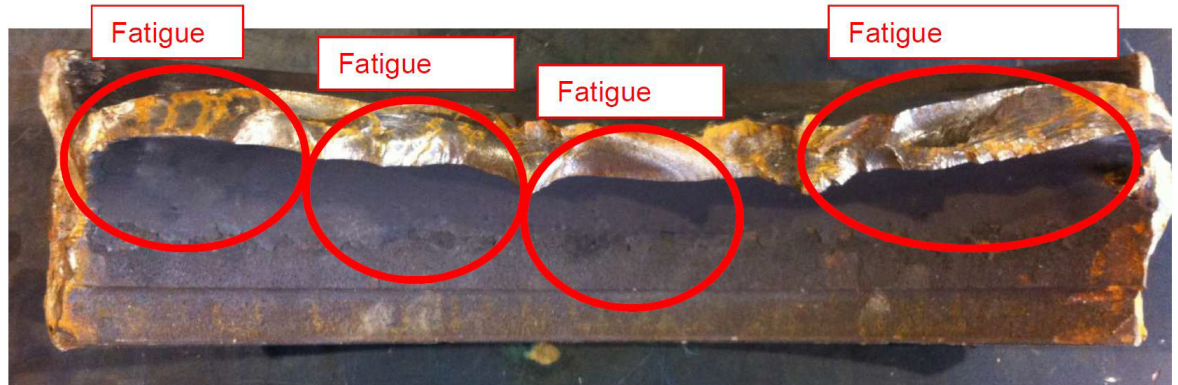
Les deux premières, en extrémité sont dans le prolongement de la fissure radiale. Ces dernières se réorientent progressivement (cf. zone C décrite ci-avant). Dans ces deux zones, correspondant à la toile, le faciès présente des lignes frontales, caractéristiques du phénomène de fatigue, indiquant un réamorçage en face externe. L'orientation de ces lignes montre que la propagation de cette fissure se produit sous l'effet des sollicitations transversales liées à la circulation en courbe.

Entre ces deux zones de fissuration, l'orientation de la propagation est circonférentielle et la morphologie est plus rugueuse, caractéristique d'une rupture brutale. Il est à noter qu'un motif semble se dessiner sur le faciès, en forme de chevron, typique d'une rupture semi-fragile, indiquant le sens de la rupture.



Le faciès de rupture dans la toile des fragments 2 et 3 avec les trois zones distinctes est semblable à celui du fragment 1.

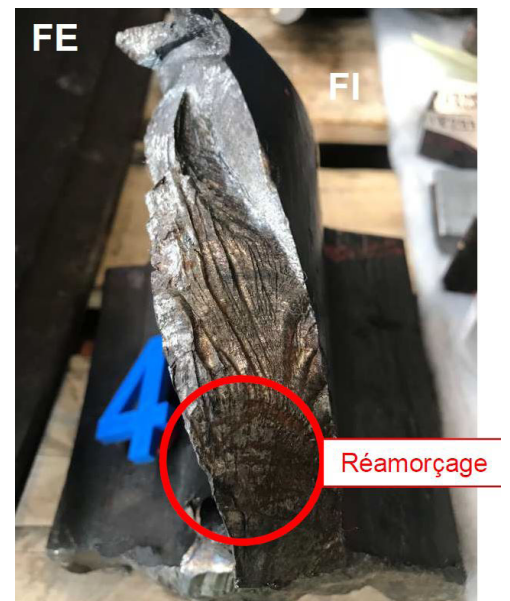
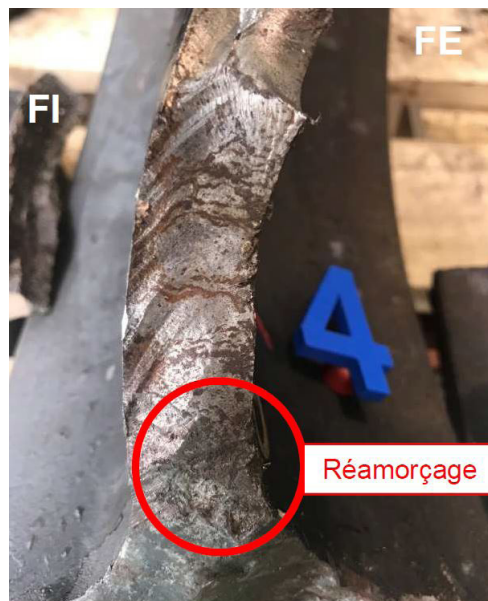
Le fragment 4 est différent des trois autres puisque le faciès dans la toile est quasiment entièrement caractéristique d'une propagation en fatigue.



On y distingue quatre zones distinctes.

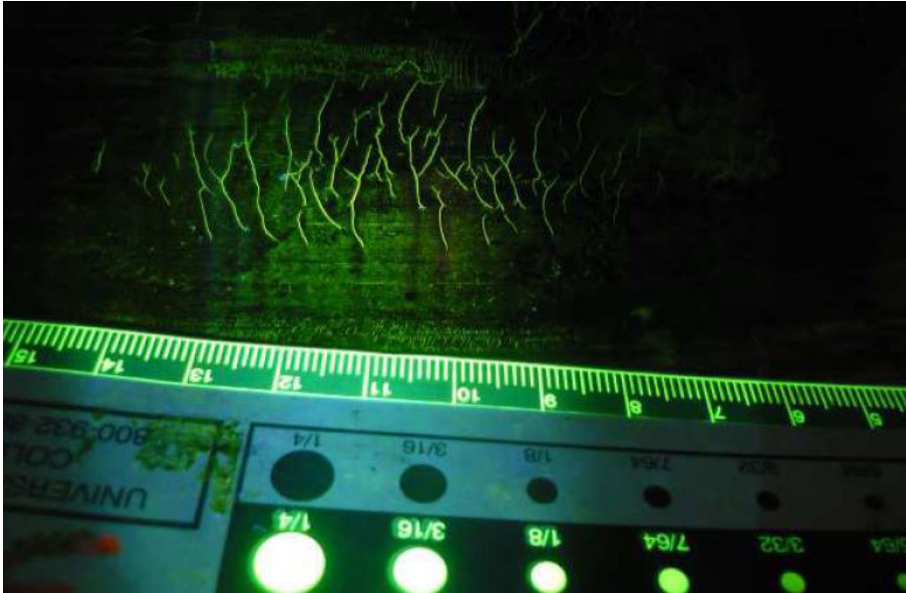
Les deux premières, en extrémité sont dans le prolongement de la fissure radiale. Ces dernières se réorientent progressivement (zone C décrite au paragraphe «Examen fractographique de la jante»). Dans ces deux zones, correspondant à la toile, le faciès présente des lignes frontales, caractéristiques du phénomène de fatigue, indiquant un réamorçage en face externe. L'orientation de ces lignes montre que la propagation de cette fissure se produit sous l'effet des sollicitations transversales liées à la circulation en courbe.

Entre ces deux zones on retrouve aussi deux plages de fissuration en fatigue avec réamorçages successifs toujours du côté face externe de la toile. L'orientation de ces lignes confirme que la propagation de cette fissure se produit sous l'effet des sollicitations transversales liées à la circulation en courbe.

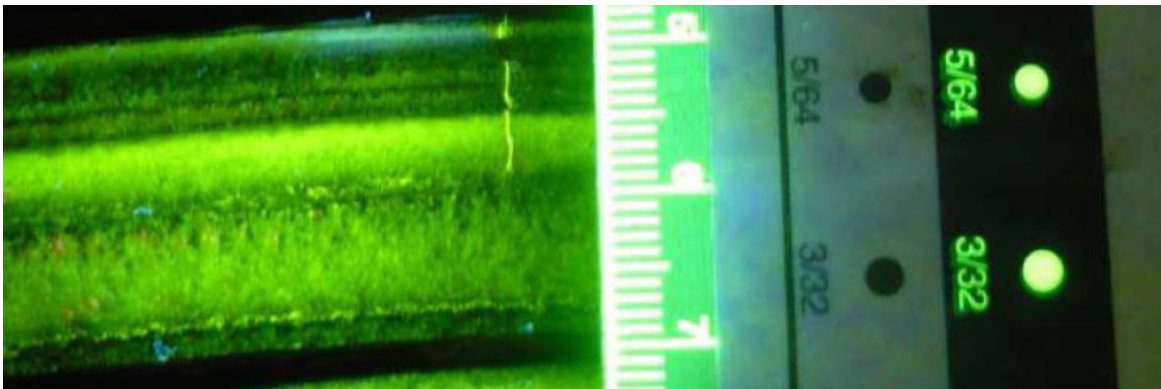


Examen par magnétoscopie

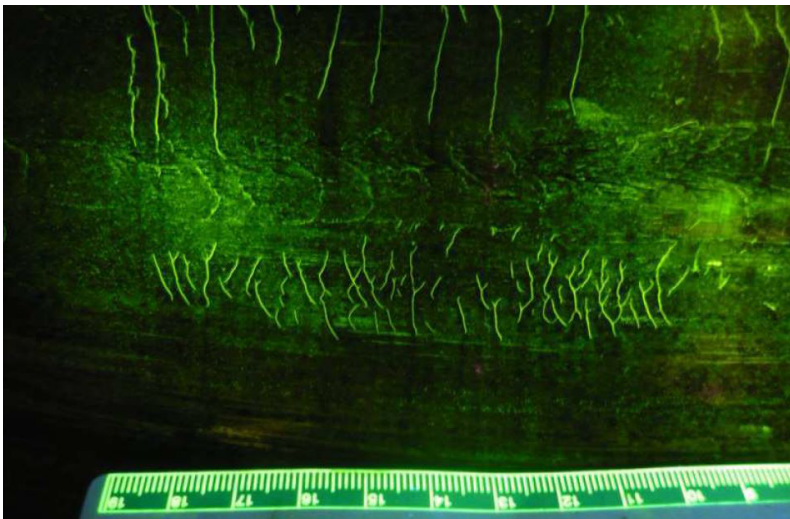
De nombreuses indications sont mises en évidence sur la table de roulement des 4 fragments. Ces indications sont majoritairement axiales.



Sur les fragments 1, 3 et 4, certaines indications débouchent en face latérale externe de la jante.



Sur le fragment 3, on observe en plus un faïençage vers le boudin.



Examen fractographique de fissures dans la jante

L'examen par magnétoscopie ayant mis en évidence sur les quatre fragments au moins une indication débouchant en face externe, il est décidé d'ouvrir un défaut pour chaque fragment. Chaque fissure ainsi mise en évidence présente des similitudes. On retrouve les trois directions de propagations correspondant aux trois zones A, B et C, décrites lors de l'examen des faciès de rupture principaux (cf. Examen fractographique dans la jante).

Les lignes frontales caractéristiques d'une propagation en fatigue indiquent toutes un amorçage en surface de la table de roulement à environ 40 mm de la face externe. La propagation est radiale sur 20 mm (Zone A).

Il y a réamorçage en plusieurs points du front de fissuration initiant une nouvelle propagation quasi parallèle à la table de roulement (Zone B).

Enfin un nouveau réamorçage est détecté dans la direction radiale sur le front de propagation de la fissure précédente correspondant à la zone C. C'est cette dernière fissuration qui se réoriente pour se propager dans la toile.



Il est également décidé d'ouvrir une des indications axiales détectées en milieu de table de roulement. Cette fissure mesure 40 mm. Elle est localisée sur le fragment 2 (Zone C).



Après ouverture, une première fissure est mise en évidence, de profondeur 3 à 4 mm, correspondant aux gerçures initiales. Ce type de défaut est provoqué par un échauffement anormal dû à un freinage trop intense. A partir de cette fissure, s'amorcent ensuite plusieurs fissures qui évoluent en fatigue, sous les sollicitations associées du contact roue-rail et des cycles thermiques induits par le freinage.

Analyse chimique

L'analyse de composition chimique est réalisée sur un échantillon prélevé dans la jante de la roue. Le prélèvement de l'échantillon est spécifié dans la norme EN 13262.

Malgré le prélèvement décalé par rapport à un prélèvement réalisé dans une roue neuve, compte tenu de l'usure de la roue, la composition de la roue semble correspondre à celle d'un acier ER7 répondant aux exigences de la norme EN13262.

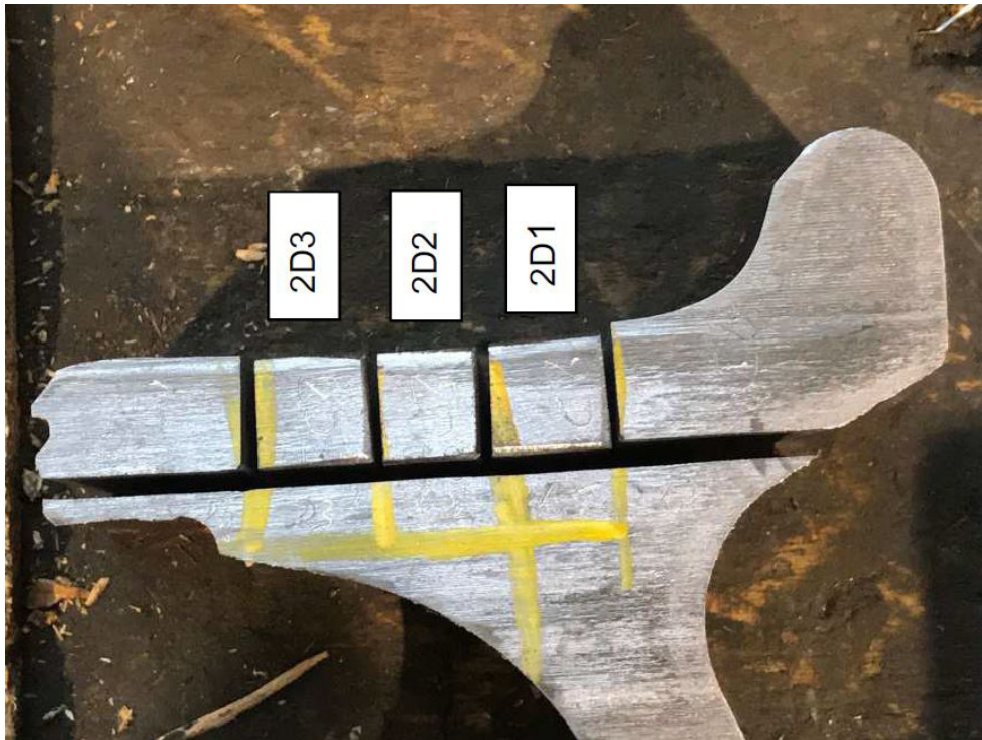
Examen macrographique dans la jante

Un examen macrographique est réalisé sur une coupe transversale de la jante. Aucune transformation métallurgique de l'acier en profondeur n'est révélée.

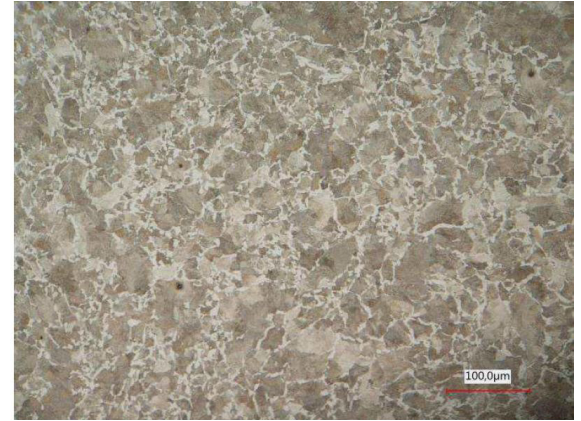
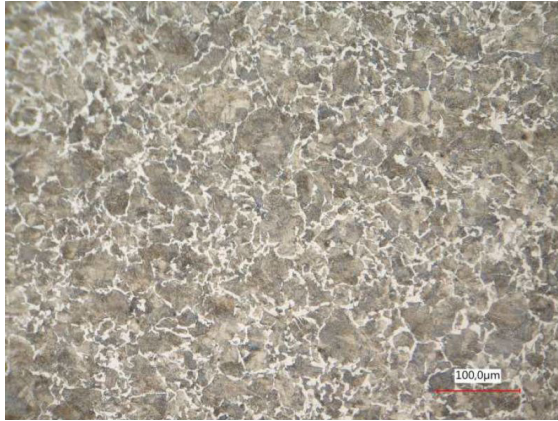
Examen micrographique dans la jante

La microstructure dans la jante est observée dans deux plans circonférentiels à 70 mm (repère 2D2) et à 85 mm (repère 2D3) de la face latérale interne de la roue.

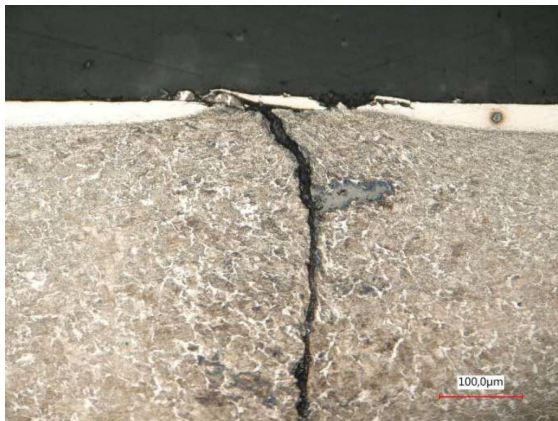
Références :



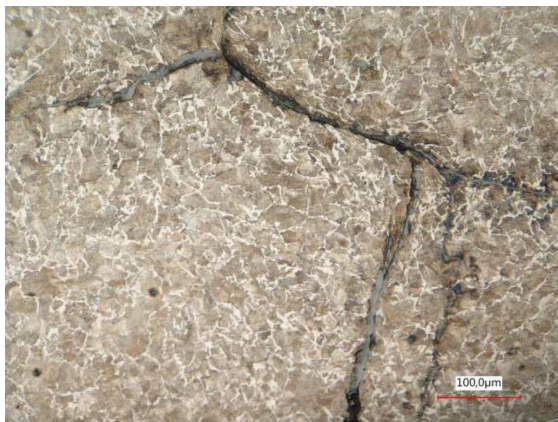
A cœur (15 mm sous la table de roulement), la microstructure est ferrito-perlitique, caractéristique des roues forgées en acier ER7.



Plusieurs fissures sont observées.
Certaines présentent une orientation plutôt radiale avec une inclinaison en extrême surface.



Plus en profondeur, on observe des ramifications quasi parallèles à la surface de la table de roulement.



D'autres fissures sont plutôt inclinées à 45°.



Dans les deux plans observés, la table de roulement présente :

- à 70 mm de la face interne (cercle de roulement théorique) (2D2 - à gauche ci-dessous), une phase blanche, en extrême surface, d'épaisseur 100 µm, suivie d'une couche transformée de 1 mm.
- à 85 mm de la face interne (2D3 - à droite ci-dessous), une couche blanche mise en évidence, plus fine, 50 µm suivie d'une couche transformée également plus fine et moins marquée.



Les couches dites transformées correspondent à une zone de transformation métallurgique, grains affinés et globulisation de la perlite.



La phase blanche observée peut avoir deux origines, les fortes sollicitations de contact roue/rail et une élévation importante locale de la température due à la friction avec la semelle de frein. La modification structurale sous cette couche blanche, est due à l'élévation de température dans la jante suite aux freinages.

Essais de dureté dans la jante

Les essais ont été réalisés sur une tranche de jante prélevée sur le fragment 2. L'essai est réalisé suivant la méthode BRINELL avec un pénétrateur de diamètre 5 mm et sous une charge de 750 kgf, selon la NF EN ISO 6506-1.

Compte tenu de l'usure de la roue, les mesures de dureté sont réalisées hors plage d'usure. Il est impossible de se prononcer sur une éventuelle conformité de la roue. Une élévation notable de la dureté à 5 mm de profondeur est détectée.

3.4.2.2. EXPERTISE DE LA ROUE OPPOSÉE À LA ROUE ROMPUE

Examen visuel

La roue opposée à la roue rompue est très fortement dégradée suite au déraillement et très oxydée. Des décollements de peinture au raccordement toile/jante sont détectés, confirmant des échauffements importants dus à des freinages.

Examen par magnétoscopie

Malgré l'endommagement important, cette roue présente le même type d'indications sur la table de roulement, principalement axiales. L'une d'elles débouche également sur la face externe.

3.4.2.3. EXPERTISE DES 2 AUTRES ROUES DU MÊME BOGIE (SECOND ESSIEU)

Examen visuel

Les roues sont très fortement dégradées suite au déraillement. Elles présentent une oxydation importante et la peinture sur la toile de roue est très endommagée. Les roues ayant roulé dans le ballaste, la jante de chacune des deux roues est très endommagée, et présente de nombreuses marques de chocs, des replis de métal.

On observe au raccordement toile/jante des traces de décollement de peinture, ayant entraîné une corrosion plus importante. Ces observations font suite à une élévation de température importante provoquée par des freinages intenses.

Examen par magnétoscopie

De nombreuses indications d'orientation axiale sont visibles sur la table de roulement. Ces indications sont comparables à celles observées sur la roue et les fragments de l'autre essieu. Elles semblent correspondre à des gerçures et criques thermiques.

Examen fractographique de fissures dans la jante

Pour identifier ces indications, trois des plus importants défauts sont choisis sur une des deux roues pour ouverture et examen fractographique.

Deux des indications sont bien linéaires, perpendiculaires au cercle de roulement (orientation axiale). Leurs faciès sont perpendiculaires à la table de roulement. Ils sont caractéristiques de criques thermiques, propagées en fatigue aux vues des lignes d'arrêts bien marquées jusqu'à 6 mm de profondeur.

La troisième indication est plus perturbée, moins rectiligne, d'orientation également perpendiculaire au cercle de roulement (orientation axiale). Son faciès est légèrement incliné par rapport à la surface de roulement. Il présente aussi des lignes d'arrêts caractéristiques d'une propagation en fatigue. Ce défaut s'apparente plus à un défaut type gerçure.

Dans tous les cas, les indications mises en évidence sont caractéristiques de défauts d'origine thermique. Leur propagation est provoquée par l'alternance des chauffages et refroidissements.

3.4.3. MATÉRIEL ROULANT : LES FREINS

3.4.3.1. LES ORGANES DE FREIN

Après l'accident, il était nécessaire de vérifier le système de freinage des 2 derniers wagons : l'avant dernier wagon sur lequel la roue s'est brisée ainsi que le dernier wagon.

Les vérifications et mesures des systèmes de freinages ont été effectués par l'Atelier Freins de CFL Technics s.a. à Pétange (G-D du Luxembourg). Cet atelier dispose d'une reconnaissance de la société VTG; il est équipé de différents bancs de mesure :

- banc d'essai distributeur automatique et relais autovariable / convertisseur de pression ;
- banc d'essai semi-automatique ;
- banc d'essai détenteur de pesée ;
- banc d'essai régleur ;
- banc d'essai freins mobile automatique avec établissement de PV (BR0-BR3, UIC 543-1) ;
- banc d'essai freins mobile (BR0).

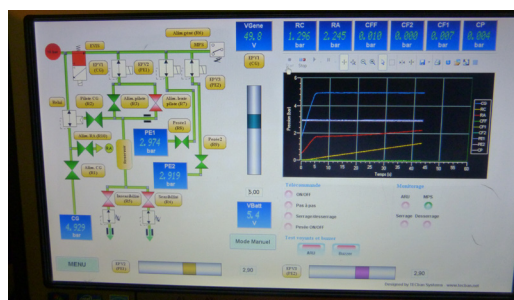
Les mesures ont été effectuées suivant la fiche UIC 543-1 («Frein - Contrôle d'un standard minimal dans la maintenance du frein équipant les wagons»).

Etant donné les dégâts subis par l'avant-dernier wagon, il a été décidé de réaliser 2 types de vérifications :

- des mesures de chacun des organes du système de freinage impliqué (relais, valve de pesée) sur les bancs de mesures adapté repris ci-dessus ;
- des mesures sur un wagon identique suivant les mêmes procédures que lors des révisions des wagons (suivant la fiche UIC 543-1 et sur banc d'essai freins mobile automatique).



Banc semi-automatique devant le wagon
33 68 4952 088-5.



Ecran du banc semi-automatique durant les mesures du wagon
33 68 4952 088-5.

Résultat des mesures du wagon de référence (33 68 4952 088-5), identique au dernier wagon

Les mesures sont conformes aux normes établies : aucune anomalie n'a été détectée.

Résultat des mesures des éléments impliqués du dernier wagon (33 68 4952 072-9)

Le rapport d'essai du distributeur de frein n'a pas révélé d'anomalie.



Banc de mesure sur lequel est monté le distributeur à mesurer/tester.



Ecran d'affichage du banc de mesure.

Les mesures effectuées sur la valve de pesée n'ont pas révélé d'anomalie.



Valve de pesée démontée du bogie 3-3' du wagon 33 68 4952 072-9.



Valve de pesée où des dégâts consécutifs à l'accident sont visible (joint d'étanchéité sorti).



Affichage du banc de test de la valve de pesée : la valve étant de type 3, elle devrait «sortir» 4 bar si une charge de 5 tonnes lui est appliquée. Sur le banc de mesure, 3,7bar sont mesurés (valve endommagée).

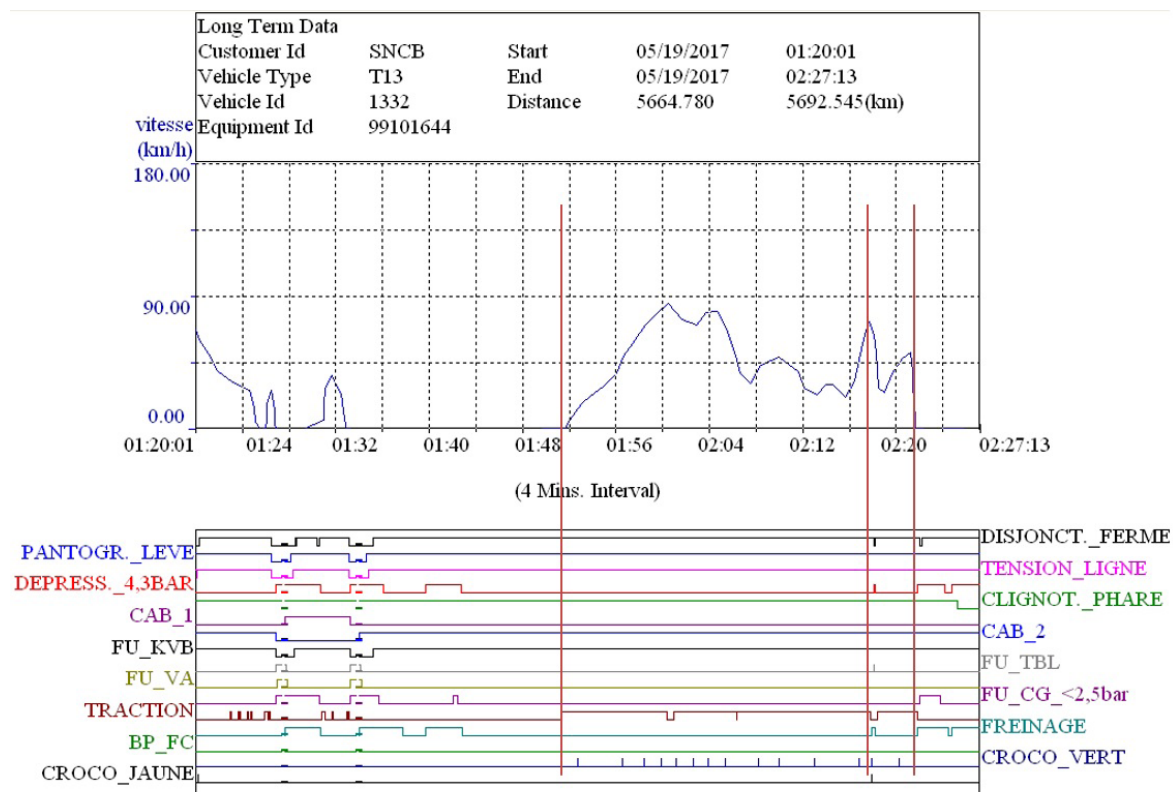
Résultat des mesures du dernier wagon (31 80 4953 746-3)

Les mesures ont été effectuées dans l'atelier grâce au banc d'essai semi-automatique. Les mesures sont conformes aux normes établies : aucune anomalie n'a été détectée.

3.4.4. ANALYSE DES DONNÉES ENREGISTRÉES À BORD DU TRAIN

3.4.4.1. ANALYSE DES ÉLÉMENTS ESSENTIELS

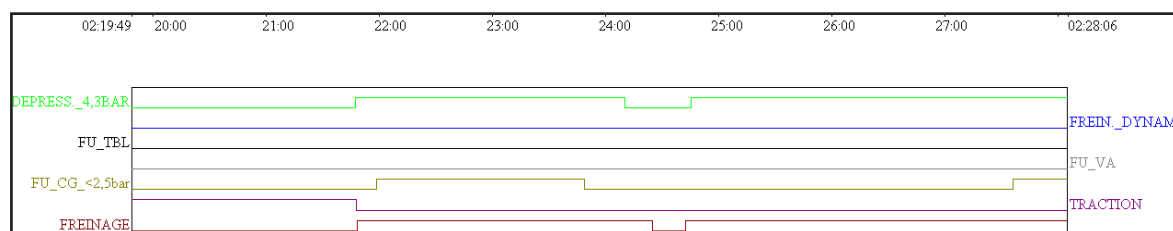
Le graphe avec les données enregistrées à bord du train est présenté ci-dessous. Un décalage d'une heure est à prendre en compte : lorsque le graphe indique 1:00, il est en réalité 2:00.



Les éléments importants des enregistrements :

- ❶ Vers 2:48 (1:48 sur le graphe) : départ de la gare de Virton.
- Les différents signaux rencontrés par le train présentent l'aspect Vert.
- ❷ Vers 3:18 (2:18 sur le graphe), le train passe à hauteur d'un panneau de réduction de vitesse appuyé par un crocodile et une balise TBL1+. Le conducteur pointe tardivement sa vigilance à hauteur de ce panneau.
- Le premier freinage opéré a lieu à hauteur de ce panneau.
- Juste avant 3:22 (2:22 sur le graphe), la vitesse du train diminue rapidement. Une dépression dans la CFA est constatée (freinage), suivie d'une coupure de la traction et d'une action de freinage par le conducteur.

La pression dans la CFA continue de diminuer rapidement passant sous les 2.5 bar et le train s'immobilise à 2:22. Un zoom sur cette succession d'événements est présenté ci-dessous :

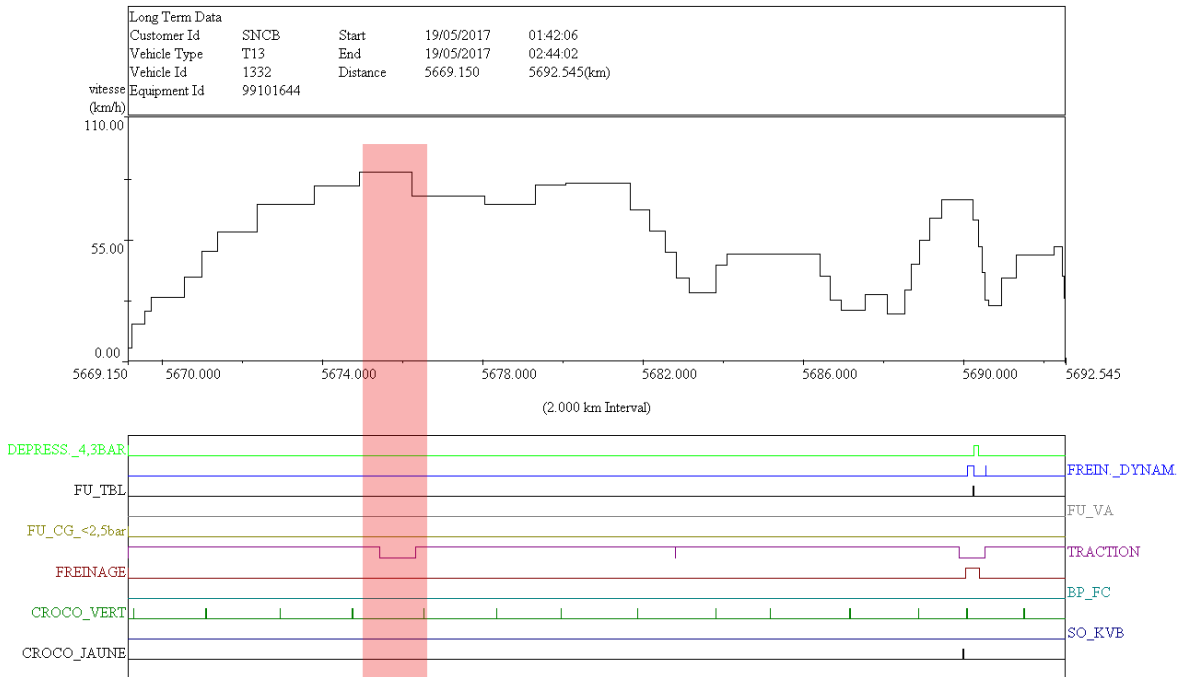


3.4.4.2. MISE EN RELATION

L'analyse permet de vérifier les événements survenus durant le trajet depuis Virton.

Détachement du premier fragment de roue

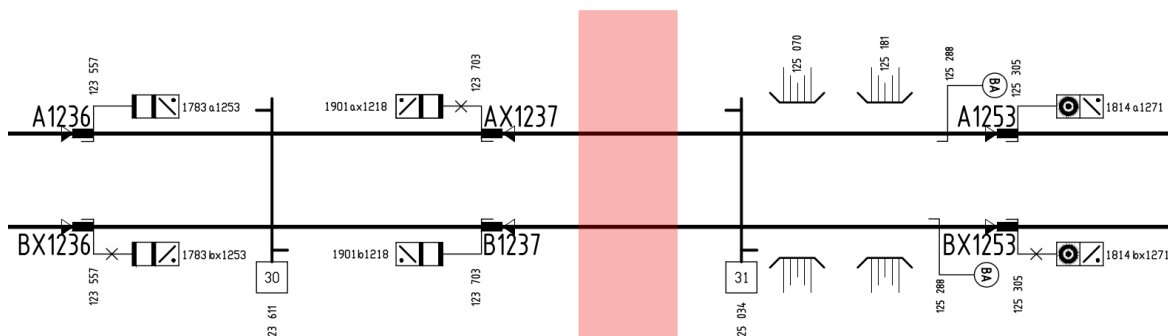
Le premier fragment s'est détaché de la roue vers la BK 124.000 : cette zone est indiquée sur le graphe des données ci-dessous.



Constatations :

- aucun freinage n'est constaté ;
- aucun changement brusque ou significatif de la vitesse du train n'est détecté.

Au niveau de l'infrastructure, aucun appareil de voie ne se trouve à la BK 124.000 :



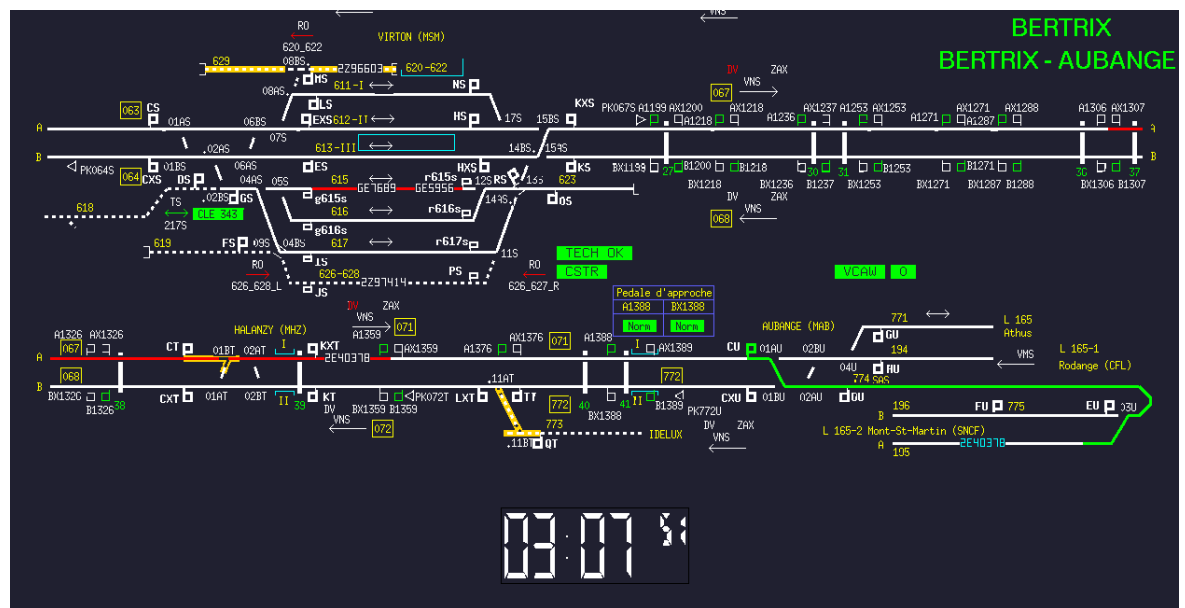
3.5. DOCUMENTATION SUR LE SYSTÈME OPÉRATOIRE

3.5.1. MESURES PRISES PAR LE PERSONNEL POUR LE CONTRÔLE DU TRAFIC ET LA SIGNALISATION

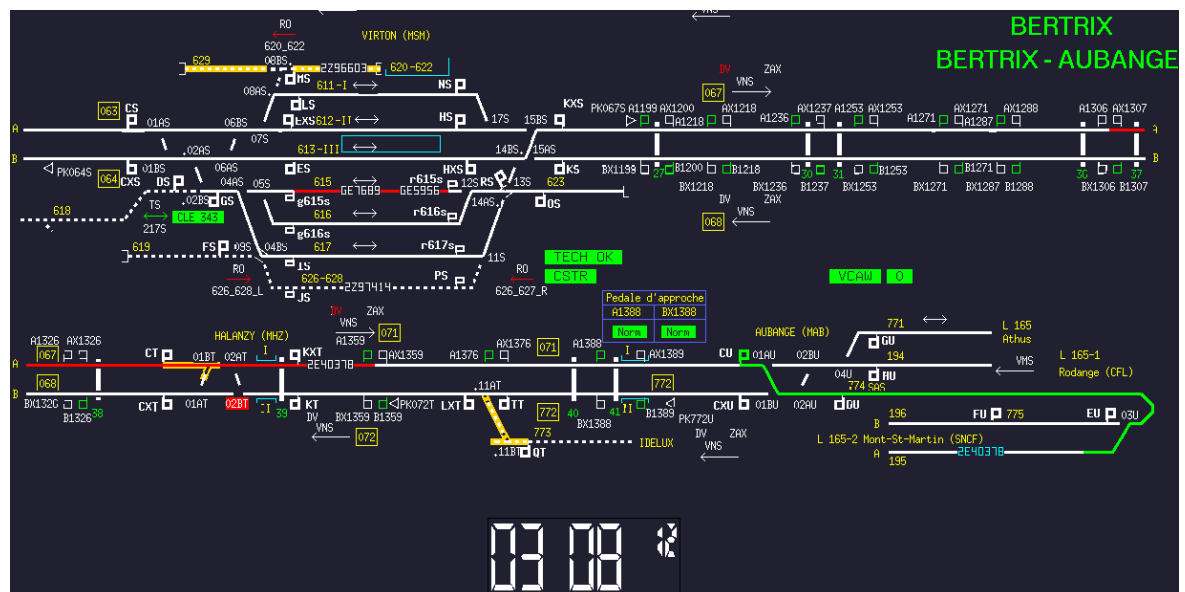
Durant le parcours du train entre Virton et Athus, le poste de signalisation de Bertrix a pu suivre l'évolution du train E40378 sur les écrans EBP.

Lorsque le wagon 33684952072-9 a déraillé et que les dégâts ont été occasionnés entre autres au système de signalisation, les conséquences de certains dérangements ont été visibles sur les écrans de contrôles EBP au poste de signalisation.

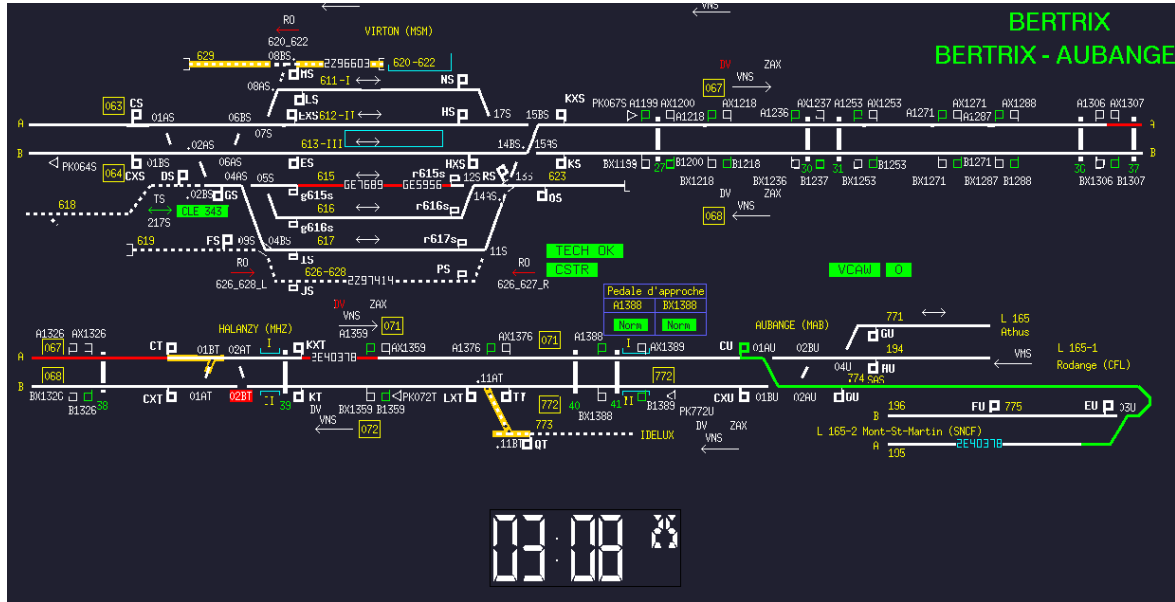
3:07 51' : Perte de contrôle de l'aiguillage 01BT



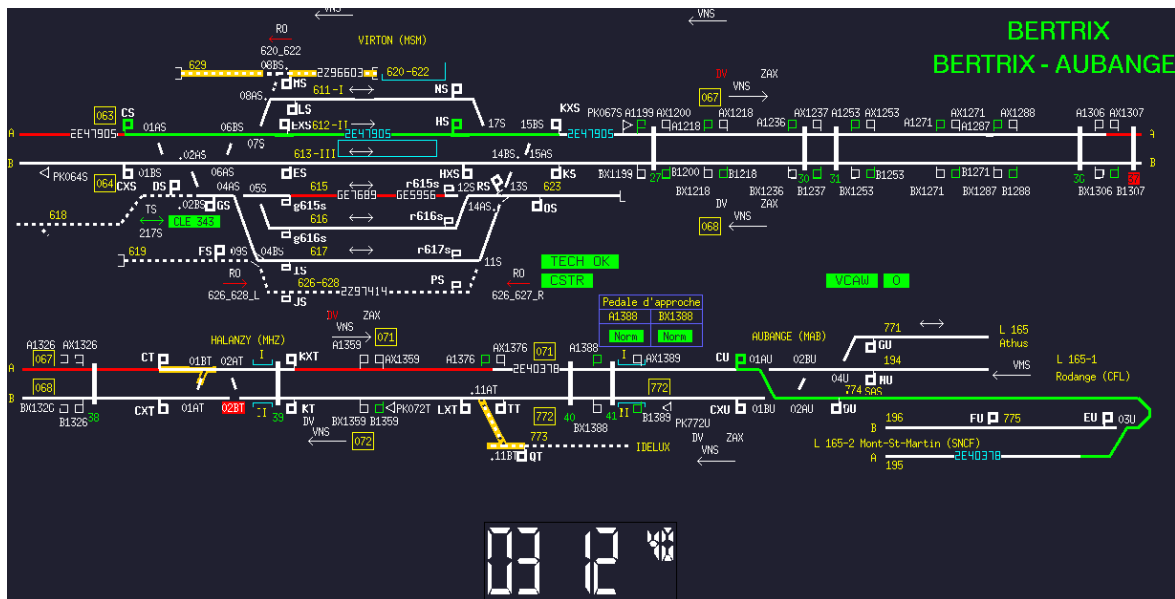
3:08 12' : Pas de contrôle de l'aiguillage 02BT



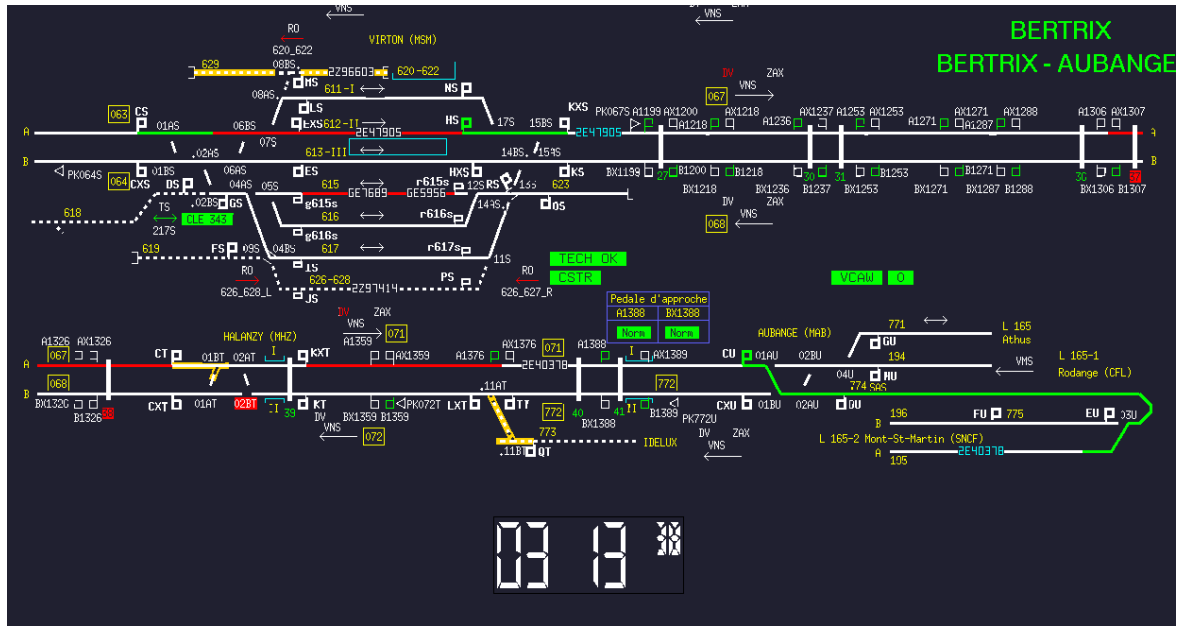
3:08 25' : Alors que le train a dépassé le signal KX-T.23 d'Halanzay, les CV A1306 et A1326 restent occupés (dérangement).



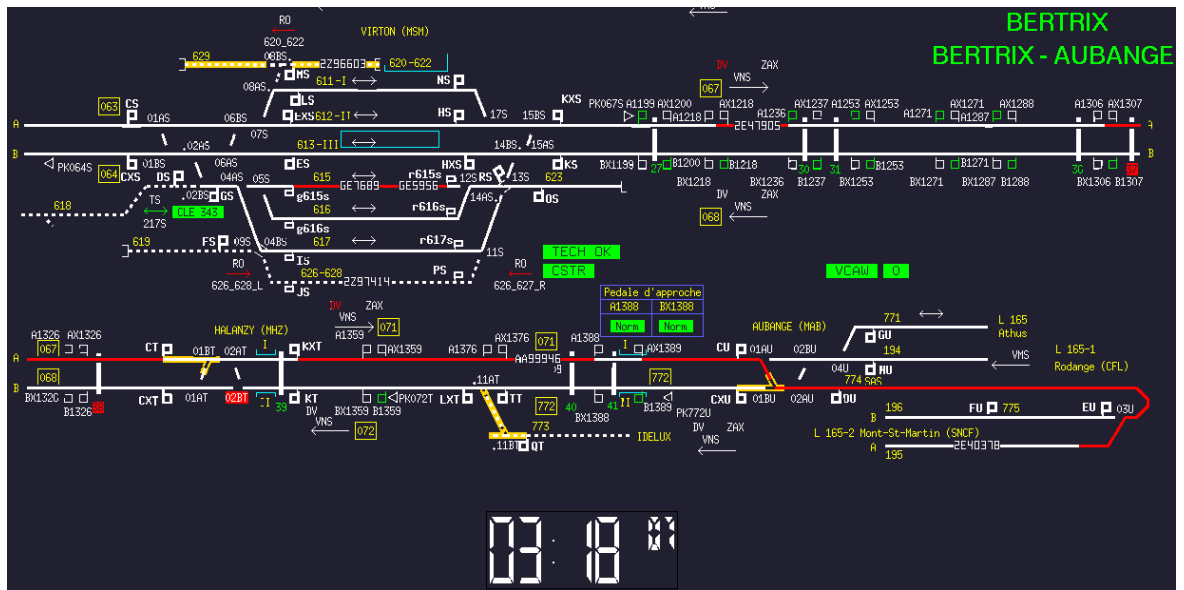
3:12 40' : Grande alarme au PN 37



3:13 38' : Grande alarme au PN 38



3:18 07' : Perte de contrôle de l'aiguillage 01BU



3.5.2. ÉCHANGE DE MESSAGES VERBAUX

Vers 3:11, constatant l'apparition des premiers dérangements sur les écrans EBP, l'agent du poste de signalisation de Bertrix prend contact avec le conducteur du train. Le conducteur déclare qu'à part quelques difficultés liées à l'adhérence le forçant à réduire l'allure, il n'a pas remarqué de souci avec son train.

L'agent du poste de signalisation de Bertrix téléphone ensuite au RIOG pour signaler les dérangements de CV, et durant l'appel, les grandes alarmes aux PN 37 et 38.

Vers 3:19, l'agent du poste de signalisation de Bertrix prend contact à nouveau avec le conducteur du train: celui-ci mentionne alors qu'il a un problème de conduite pneumatique (perte de pression) et qu'il va aller vérifier le train.

3.5.3. MESURES PRISES POUR PROTÉGER ET SAUVEGARDER LE SITE DE L'ÉVÉNEMENT

A 3:21, le Traffic Control lance un appel d'urgence GSM-R : l'appel d'urgence a été établi avec succès dans les 6 cellules définies dans l'axe concerné par l'appel d'urgence.

3.6. INTERFACE HOMME-MACHINE-OPÉRATION

3.6.1. CONCEPTION DES ÉQUIPEMENTS AYANT UN IMPACT SUR L'INTERFACE HOMME-MACHINE

3.6.1.1. DÉTECTION DE DÉRAILLEMENT

Le conducteur du train n'a pas senti l'impact du bris de roue ni les heurts du wagon déraillé sur les différents éléments de l'infrastructure (dégâts causés aux traverses, aux installations des passages à niveau, aux circuits de voies, ... cf. 2.3).

Des systèmes de détection de déraillement à installer sur les wagons existent.

Ce type de détecteur de déraillement détecte un essieu déraillé en captant et en analysant les chocs des roues (accélération verticale). Il réagit alors en envoyant un signal au conducteur ou en immobilisant le train par un freinage d'urgence (par l'ouverture de la conduite de frein principale, ce qui déclenche un freinage d'urgence).

Il n'existe pas d'obligation légale pour l'installation et l'utilisation de ce type de détecteur : le wagon 33 68 4952 072-9 n'en était pas équipé.

3.7. ÉVÉNEMENTS DE NATURE SIMILAIRE

D'autres cas de roues brisées ou fissurées, avec des similarités avec le cas de Aubange, sont observés en Europe.

L'analyse de ces cas a permis de détecter 2 types de roues impliqués :

BA314 / ZDB29 (même type de roue que la roue brisée sur le wagon à Aubange)

Autriche	St. Veit an der Glan	Wagon en opération	20/06/2011
Allemagne	Bützow	Wagon en opération	13/12/2016

BA 004:

Allemagne	Winterhausen	Wagon en opération	25/07/2012
Autriche	Villach	Wagon en opération	07/12/2016
Italie	Busto Arsizio	Wagon en cours d'inspection	27/12/2016
Italie	Busto Arsizio	Wagon en cours d'inspection	25/01/2017
Italie	Giulianova	Wagon en opération	16/03/2017
Allemagne	Müllheim	Wagon en opération	11/07/2017
Allemagne	Duisburg	Pendant un changement de blocs de frein	11/07/2017
Allemagne	Duisburg	Pendant un changement de blocs de frein	11/07/2017

Sur base de ces similarités de cas, des mesures ont été prises au niveau européen : elles sont détaillées au chapitre 5 du présent rapport.

4. ANALYSE ET CONCLUSIONS

4.1. COMPTE RENDU FINAL DE LA CHAÎNE D'ÉVÉNEMENTS

Le 19 mai 2017 un peu avant 3 heures du matin, le train de marchandises 40378 de l'entreprise ferroviaire Lineas démarre de Virton et roule sur la ligne 165. Il est composé d'une locomotive électrique de type 13 et de 25 wagons.

Après avoir parcouru environ 6 km, aux environs de la BK 124.000, un peu avant le PANG d'Halanzy, la roue droite de l'essieu 3-3' (bogie central sur un wagon articulé) du 24ème wagon se brise et un fragment de la roue se détache de la roue, suivi d'un 2ème fragment.

Aucun élément en poste de conduite n'indique au conducteur du train un bris de roue et le train poursuit son trajet. Le bogie central du 24ème wagon déraile et se positionne «en crabe», ce qui occasionne des dégâts à l'infrastructure et à divers éléments de signalisation.

Vers 03:18, le block 23 de Bertrix constate divers dérangements au niveau de l'infrastructure et de la signalisation dans le tronçon entre Halanzy et Aubange après le passage du train 40378 : occupations et libérations anormales de circuits de voie détectant la présence de train dans des sections, des pertes de contrôle de plusieurs aiguillages ainsi que des alarmes sur des passages à niveau. Le personnel du block 23 prend contact avec le conducteur du train pour lui demander s'il a des soucis avec son train : celui-ci n'ayant rien remarqué de problématique, il poursuit son trajet. La roue brisée roule dans le ballast : 2 autres fragments se détachent aux BK 127.000 et 127.800.

Le block 23 prend contact avec les experts du Railway Infrastructure Operation Center (RIOC) pour informer des dérangements observés, de même qu'avec le Traffic Control (TC) pour l'informer de la situation et des dérangements, qui augmentent avec l'évolution du train.

Persuadé que le problème vient du train, le block prend de nouveau contact avec le conducteur pour lui demander d'arrêter son train et de procéder à une inspection. Le conducteur immobilise le train à hauteur de la BK 141200.

Cet appel est interrompu par l'alarme que lance le Traffic Control via GSM-R, interrompant les circulations.

Le TC prend ensuite contact avec le conducteur du train 40378 pour lui demander d'arrêter son train. L'inspection du train par le conducteur permet de constater le déraillement des deux derniers wagons.

Les inspections des voies par les équipes d'Infrabel permet de constater que les dégâts à l'infrastructure sont très importants et répartis sur une distance de 14 kilomètres.

4.2. ANALYSE DES FACTEURS TECHNIQUES

4.2.1. EXPERTISE DES FRAGMENTS ET ROUES

Le déraillement du 24ème wagon (3368 4952 072-9) est la conséquence du bris de la roue droite de l'essieu 3-3' du wagon (voir illustration ci-dessous).

Le 25ème (dernier) wagon (3180 4953 746-3) a déraillé au moment où le train est passé sur un aiguillage peu avant son arrêt : les dégâts causés par le 24ème wagon aux appareils de voie ont empêché le 25ème wagon de suivre les 2 fils de rail.

Ces 2 wagons sont de type Sggmrs, wagon articulé à 3 bogies pouvant transporter divers types de fret (containers, citernes, ...). Les wagons appartiennent à la société VTG, également ECM.

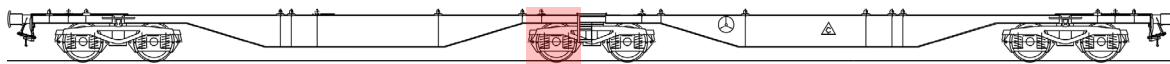


Illustration d'un wagon de type Sggmrs, avec indication de l'essieu 3-3'

Les morceaux de roue, de même que l'essieu impliqué et le second essieu du bogie ont été expertisés en laboratoire afin de déterminer la cause de la rupture de la roue.

Suite à un incident de frein, un freinage trop énergétique, ou l'application de semelles de freins agressives comme certaines semelles composites de type LL, il peut y avoir eu apparition de défauts sur la table de roulement de type criques thermiques et gerçures et échauffements importants de la jante.

Les endommagements de la peinture observés au niveau du raccordement toile/jante sur les fragments de la roue brisée confirment ces faits.

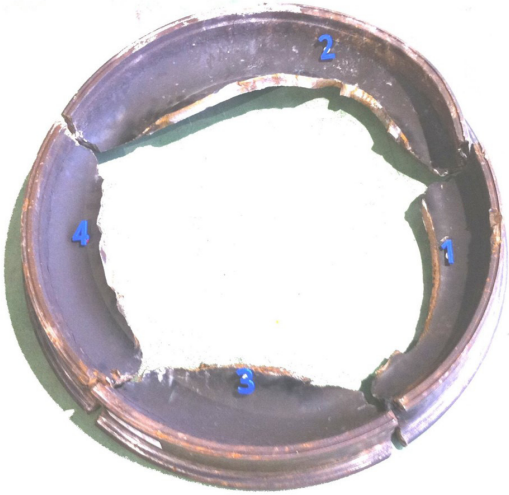
Ces défauts, au cours du service, se sont propagés en fatigue dans une direction radiale, sous l'effet des sollicitations thermiques.

Une bonne ténacité et une géométrie limitant l'augmentation des contraintes résiduelles dans la jante, ont permis d'empêcher une rupture brutale de la roue jusqu'au moyeu.

Cependant, le champ de contrainte dans la jante sous l'effet des contraintes de service a provoqué un changement de direction de la propagation de la fissure dans une direction circonférentielle (sous l'effet en service des efforts verticaux au contact du rail).

De nouvelles sollicitations thermiques ont causé le réamorçage de nouvelles fissures dans le plan radial, jusqu'à atteindre la toile où la géométrie et le champ de contrainte réorientent la propagation dans une direction circonférentielle. Les réamorçages se produisent systématiquement en face externe, démontrant l'effet prépondérant des efforts transversaux dus à la circulation en courbe dans la propagation de ces fissures dans la toile.

Le fragment 4 de la jante s'est alors détaché quand les fissures circonférentielles dans la toile se sont rejointes.

Fragment n°	
1	
2	
3	
4	

Sous des efforts importants d'adhérence sur le rail mis en évidence par la présence de traces de fluage de matière à la surface de roulement, le fragment 3 s'est arraché dans la foulée.

Le fragment 2 s'est ensuite détaché sous des efforts violents répétés au vu de la déformation de la jante et des marques d'impact laissés sur la table de roulement.

Le fragment 1 a probablement été traîné avant de se détacher, expliquant le plat et l'apport de métal observé sur la table de roulement du fragment.

Au vu de l'état de la table de roulement sur les quatre fragments de jante, il semblerait que la jante de la roue rompue n'a à aucun moment touché le ballast entre la première rupture et le déraillement.

Les examens de la roue opposée du même essieu ainsi que des deux roues du second essieu du même bogie ont permis de mettre en évidence de nombreux défauts de table de roulement, de type criques thermiques, gerçures faïençage ou «peau de crapaud» similaires à ceux observés sur la roue rompue.

Ces trois autres roues présentent également une dégradation importante de la peinture au raccordement toile/jante.

L'expertise conclut sur base de son analyse en laboratoire que :

- **les phénomènes observés confirment l'élévation importante de la température de la jante au cours des services opérés par le wagon ;**
- **le problème survenu à la roue qui s'est brisée n'est pas tant un problème de hauteur de boudin ou de valeur de conicité équivalente qu'un problème de résistance aux sollicitations thermiques et aux cycles de ces sollicitations imposés à la roue ;**
- **les échauffements ont touché l'ensemble des roues du bogie et sont liés à des cycles de freinage trop intenses et/ou à l'utilisation d'un couple roues/semelles inadapté.**

4.3. ANALYSE DES FACTEURS ORGANISATIONNELS

4.3.1. MISE EN SERVICE DU WAGON 33 68 4952 072-9

Le wagon a été fabriqué en 2003 par la société LOSTR pour le compte de la société détenteur de wagons «Ahaus Alstätter Eisenbahn Cargo AG» (AAE, en abrégé).

Conformément aux procédures en vigueur, le wagon a été immatriculé et inscrit au NVR (Registre National des Véhicules) par l'Autorité Nationale de Sécurité allemande (Eisenbahn-Bundesamt).

L'Autorité Nationale de Sécurité belge, le SSICF, n'intervient pas dans cette procédure d'immatriculation (cf. 3.2.2.1).

4.3.2. ECM DU WAGON

Conformément à la Décision 2006/861, le 06/12/2010, la société AAE déclare agir en tant qu'entité unique assumant la responsabilité de la maintenance et la gestion du plan de maintenance de l'ensemble des wagons qu'elle détient.

En date du 31/08/2012, la société AAE est certifiée en tant qu'Entité en Charge de la Maintenance (ECM), conformément au Règlement 445/2011 (cf. 3.2.2.5).

4.3.3. CHANGEMENT DE PROPRIÉTAIRE ET D'ECM

En 2015, le groupe VTG reprend les activités de la société AAE : VTG devient le nouveau propriétaire des wagons détenus par AAE.

La société VTG dispose d'une certification en tant qu'Entité en Charge de la Maintenance (ECM), conformément au Règlement 445/2011. La société devient l'ECM des wagons pour lesquels elle agit en tant que détenteur, dont le wagon 33 68 4952 072-9.

4.3.4. ENTREPRISE FERROVIAIRE UTILISATRICE DU WAGON

Lineas est une entreprise ferroviaire de fret européenne exploitant des trains en Open Access en Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, France et Allemagne. Elle dispose de ses propres wagons mais elle est également EF «utilisatrice» de wagons appartenant à divers détenteurs, dont des wagons de VTG.

L'entreprise ferroviaire Lineas respecte le Contrat Uniforme d'Utilisation pour les wagons dont VTG est détenteur, dont le wagon 33 68 4952 072-9.

4.3.5. MODIFICATIONS APPORTÉES AU WAGON 33 68 4952 072-9

En novembre 2015, lors d'une maintenance au cours de laquelle un reprofilage des roues a été opéré, les semelles de frein en fonte ont été remplacées par des semelles composite de type LL.

La société VTG s'est basée sur le document V-BKS(LL) valable à partir du 01/08/2013³⁰. Le document V-BKS(LL) définit le champ d'application des wagons entrant en ligne de compte pour le remplacement des semelles fontes par des semelles LL.

Le document «V-BKS (LL)» décrit les conditions que doit remplir le wagon pour ce changement : le wagon 33 68 4952 072-9 répond à toutes les exigences du V-BKS(LL).

Au niveau des composants des freins :

- les organes des systèmes pneumatique et mécanique du wagon 33 68 4952 072-9 correspondent aux organes présents avec les semelles en fonte grise³¹;
- le wagon 33 68 4952 072-9 a un diamètre nominal de roue de 920 mm et il est caractérisé par une performance de freinage de plus de 15 tonnes par essieu : selon le document V-BKS(LL) (cf. 3.2.3.3), l'utilisation de valves à courbe infléchie (kink-valve) est, dans ce cas, obligatoire.

Se basant plutôt sur l'expérience acquise par le projet «Europe Train», la société AAE avait pris la décision de ne pas équiper le wagon 33 68 4952 072-9 de valves à courbe infléchie. La société VTG n'a pas remis en question cette décision.

Au niveau des roues et essieux :

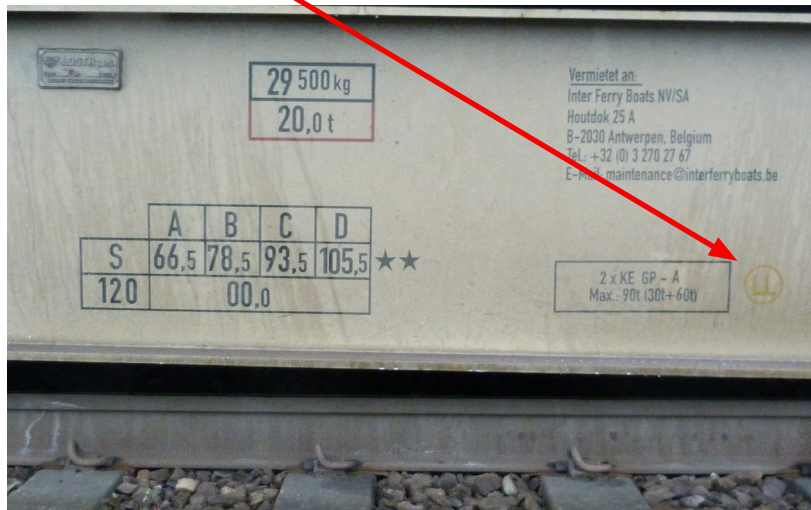
Le wagon 33 68 4952 072-9 est équipé de roues monobloc satisfaisant aux conditions de la norme EN 13979-1 et de matériaux ER7.

En 2015, se basant pour certains points sur des conditions reprises dans le document «V-BKS (LL)», et pour un autre point sur des résultats acquis par le projet «EuropeTrain», l'ECM VTG a remplacé les semelles en fonte grise par des semelles composite de type LL.

³⁰ La Directive d'application pour les semelles de frein composites LL (UIC) définit l'équipement (partie 1), l'exploitation, la surveillance et la maintenance (partie 2) des wagons qui sont dotés de semelles composites de type LL au sens de la fiche UIC 541-4, certifiées conformément à la fiche UIC 540-00.

³¹ Cf. Chapitre 5 – Mesures prises.

Conformément aux dispositions de la norme EN 15877-1:2012 (ch. 4.5.30.2.10), le wagon est marqué d'un LL (entouré d'un cercle) placé immédiatement à droite de l'inscription relative au type de frein.



Lorsqu'un véhicule est équipé d'un frein d'immobilisation, la pente maximale³² sur laquelle le véhicule chargé dont le frein à vis est serré est immobilisé de manière sûre contre la dérive doit être inscrite sur le véhicule³³.



Conformément aux exigences reprises dans le document «V-BKS (LL)», lors du changement du type de semelles en novembre 2015, la société VTG adapte le marquage du wagon 33 68 4952 072-9.

³² La pente maximale est calculée selon la formule du point 8.2.3 «pente d'immobilisation d'un véhicule par le frein d'immobilisation» de la fiche UIC 544-1, 5^{ème} édition juin 2013.

³³ L'inscription doit être réalisée conformément au point 4.5.25 de la norme EN 15877-1 (2012).

4.3.6. MONITORING DU MATÉRIEL ROULANT

4.3.6.1. SURVEILLANCES DES SEMELLES LL

La maintenance des véhicules équipés de semelles composites LL est effectuée de la même manière que pour les véhicules équipés de semelles en fonte grise (c-à-d selon le CUU).

Le *Catalogue d'avaries Semelles composites* contient des indications permettant d'évaluer les semelles.

Le wagon 3368 4952 072-9 a effectué divers passages en atelier après l'installation des semelles LL en novembre 2015.

En décembre 2016, les semelles de frein du wagon 33 68 4952 072-9 ont été changées.

4.3.6.2. SURVEILLANCE DES ROUES

Conformément à la fiche UIC 510-2, il convient de respecter, pour les roues, les dispositions suivantes :

- la surveillance des roues en service est effectuée conformément aux dispositions du CUU;
- tous les essieux des wagons équipés de semelles composites LL sont soumis à une vérification spéciale à l'occasion de chaque passage en atelier. L'évaluation de l'état et le traitement des roues sont effectués conformément au CUU ou à la fiche UIC 510-2 et en conformité à la procédure décrite dans la Directive de construction pour les semelles composites K :
 - présence de caractéristiques visibles indiquant une surcharge thermique (par ex. des brûlures nettes et nettement délimitées de la peinture au-dessous de la jante, des jantes de couleur bleuâtre, des apports de métal);
 - une usure forte ou non homogène;
 - des avaries sur la table de roulement et des criques thermiques.

Le wagon 33 68 4952 072-9 a effectué divers passages en atelier après l'échange des semelles : des maintenances préventives ont été effectuées en octobre 2016 et en mars 2017. Aucune information à notre disposition n'indique la présence de caractéristiques visibles d'une surcharge thermique, d'avaries sur la table de roulement ou de criques thermiques.

4.3.6.3. VISITE TECHNIQUE D'ÉCHANGE

Conformément au CUU, des visites techniques d'échange du train ont eu lieu avant chaque départ du train. Le wagon 33 68 4952 072-9 a donc été inspecté à plusieurs reprises entre mars 2017 (date du passage du wagon dans les ateliers de l'ECM) et le 19 mai 2017 (date de l'accident). Le wagon est intervenu essentiellement dans la composition de trains internationaux.

L'inspection des roues des wagons est reprise dans la liste des éléments à vérifier selon le CUU.

L'inspection du train, donc de chaque wagon qui le compose, avant son départ ne se déroule pas en atelier mais à l'extérieur de jour comme de nuit, quelques soient les conditions climatiques et de visibilité,... L'inspection de la roue n'est pas facilitée par le design : la photo ci-dessous donne une indication de la portion visible de la roue d'un wagon du même type que le wagon 33 68 4952 072-9.



Ni les diverses visites techniques d'échange, ni la maintenance de mars 2017 du wagon 33 68 4952 072 9 n'ont fait mention d'un constat d'anomalie sur les roues du wagon.

4.3.6.4. SURVEILLANCE DES PROFILS DE ROUE

Le document «V-BKS (LL)» prévoit que, selon leur expérience particulière et par une évaluation correspondante des risques, les ECM ont la possibilité d'adapter les exigences de monitoring des profils de roue d'un wagon sur lequel les semelles LL ont été installées.

La société VTG avait prévu ces exceptions en fonction de ses connaissances et/ou l'expérience.

En fonction de l'expérience acquise lors des essais, la société VTG avait prévu qu'une première inspection aurait lieu une fois que le wagon 3368 4952 072-9 aurait parcouru 200.000 km après le reprofilage des roues du wagon. Les essais et l'expérience acquise avaient permis à VTG de déterminer que ni la hauteur du boudin ni la conicité équivalente ne dépassaient des valeurs critiques lors de l'utilisation de semelles de frein de type LL, même après un kilométrage de plus de 200.000 km.

Selon les données disponibles pour ce wagon, au moment de l'accident, le wagon avait parcouru environ 193.000 km depuis le dernier reprofilage des roues en octobre 2015.

4.4. CONCLUSIONS

4.4.1. CAUSE DIRECTE

Le déraillement du 24^{ème} wagon (3368 4952 072-9) est la conséquence du bris de la roue droite de l'essieu 3-3' du wagon, des suites de fissures et criques thermiques qui se sont propagées dans la roue.

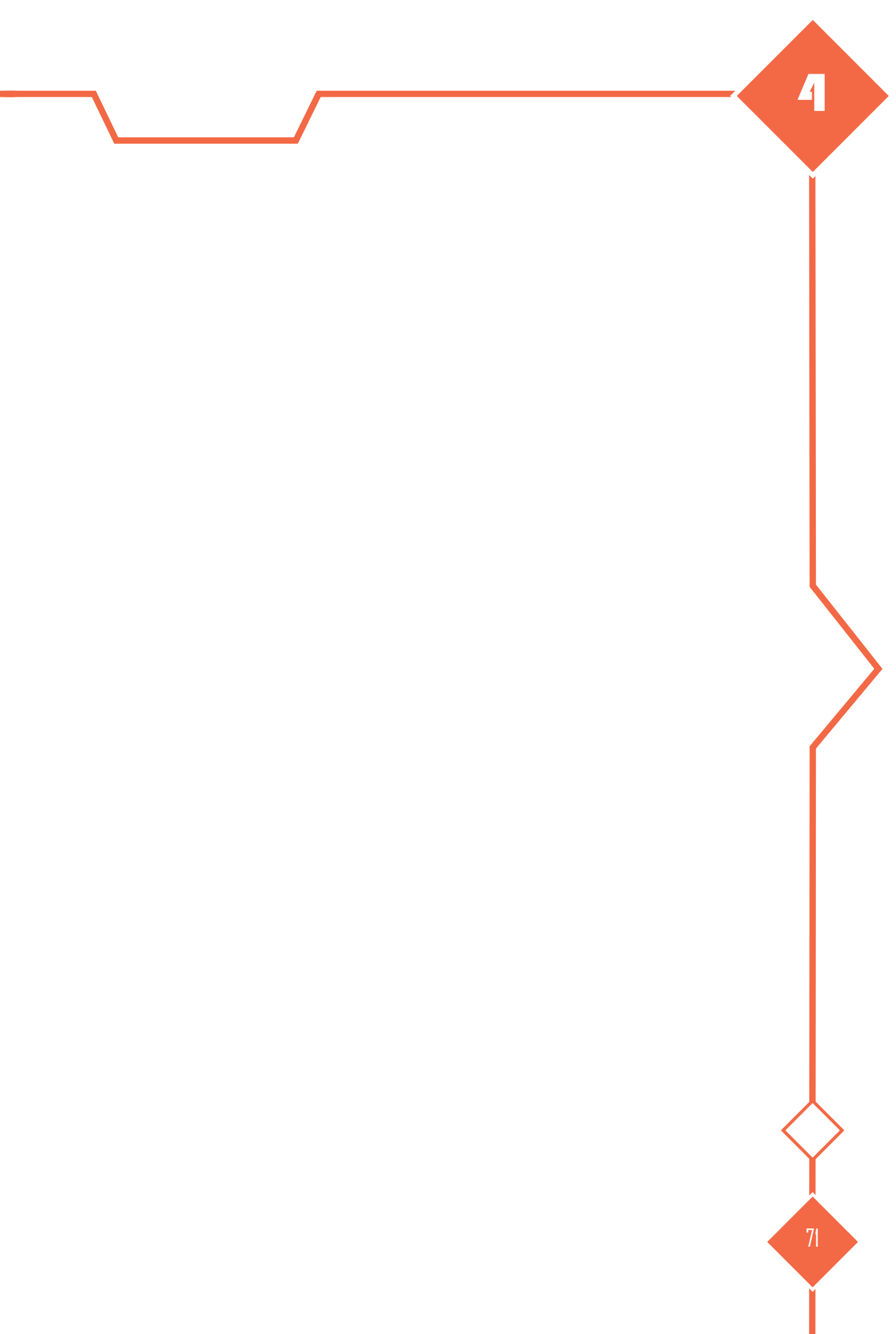
4.4.2. FACTEUR INDIRECT

Suite à des échauffements importants dans la roue en cours de service :

- des dégradations importantes de la peinture au raccordement toile/jante apparaissent;
- des fissures se forment dans la bande de roulement de la roue.

L'expertise externe en laboratoire conclut que :

- **les phénomènes observés confirment l'élévation importante de la température de la jante au cours du service ;**
- **les échauffements ont touché l'ensemble des roues du bogie ;**
- **les échauffements seraient liés à des cycles de freinage trop intenses et/ou à l'utilisation d'un couple roues/semelles inadapté, malgré que le couple roue/semelle soit conforme aux spécifications reprises dans le document V-BKS (LL) faisant référence à la fiche UIC 541-4 ;**
- **le problème survenu à la roue qui s'est brisée n'est pas tant un problème de hauteur de boudin ou de valeur de conicité équivalente qu'un problème de résistance aux sollicitations thermiques et aux cycles de ces sollicitations imposés à la roue.**



5. MESURES PRISES

5.1. MESURES PRISES PAR LE JNS

5.1.1. MISE EN PLACE D'UNE TASK FORCE PAR LE JOINT NETWORK SECRETARIAT

Avec le support de l'ERA, le Joint Network Secretariat (JNS) a réuni un groupe de travail dès juin 2017.

Le JNS favorise la coopération et la communication entre les deux groupes de parties prenantes, en particulier le secteur ferroviaire d'une part et les Autorités nationales de sécurité d'autre part. Facilité par ERA, les parties prenantes peuvent :

- identifier pour discussion et décisions les questions liées à la sécurité ferroviaire et à l'interopérabilité ;
- organiser l'échange d'opinions et de solutions ;
- déclencher des actions de réaction urgentes de nature préventive ou en réaction à un événement indésirable ;
- travailler en étroite collaboration pour la préparation des questions importantes de manière flexible et rapide.

Le mandat du groupe de travail est de livrer le plus tôt possible un plan d'action traitant des mesures d'atténuation ayant un impact à court terme, des causes profondes des roues brisées et de toute option et des solutions efficaces pour préserver l'interopérabilité et la sécurité du système ferroviaire européen.

Pour remplir sa mission, le groupe de travail a recherché différents types d'experts. Selon le document d'invitation, les experts qui se proposaient devaient spécifier leur domaine, à savoir : expertise dans la conception, la fabrication et l'entretien des roues et des trains de roulement des wagons de fret et de l'expérience de l'utilisation de semelles de frein composites dans les opérations de fret.

5.1.2. MESURES URGENTES À COURT TERME PAR LE GROUPE D'EXPERTS

Suite aux cas similaires observés (cf. 3.7), le groupe d'experts réunis par le JNS (Task Force «Broken wheels») a pris diverses mesures urgentes à court terme :

- Introduction de mesures supplémentaires en fonctionnement, entretien des wagons et maintenance des essieux montés sur les véhicules (à appliquer par les EF et les ECM, selon les cas) :
 - sur les wagons en opération et au cours de leur maintenance : inspection visuelle des roues avant le départ, inspection visuelle des roues lors du changement des semelles de frein, inspection visuelle des roues dans les ateliers (complémentaire à EVIC), élimination du marquage des roues thermostables (suppression des bandes blanches sur la boîte d'essieu) ;
 - durant l'entretien des essieux : mesures intensifiées après constatation du fonctionnement et maintenance des wagons, établissement de critères plus stricts pour les mesures de contraintes résiduelles.
- Récolte d'informations sur les cas observés afin de permettre des analyses croisées et de déterminer des causes possibles : rapports d'incidents, rapports sur l'enquête sur les roues cassées ou endommagées, calcul du frein, documents sur les conditions de service, informations issues des systèmes de surveillance des voies (en particulier de la Suisse).

Le but de ces analyses croisées est de déterminer des mesures à long terme.

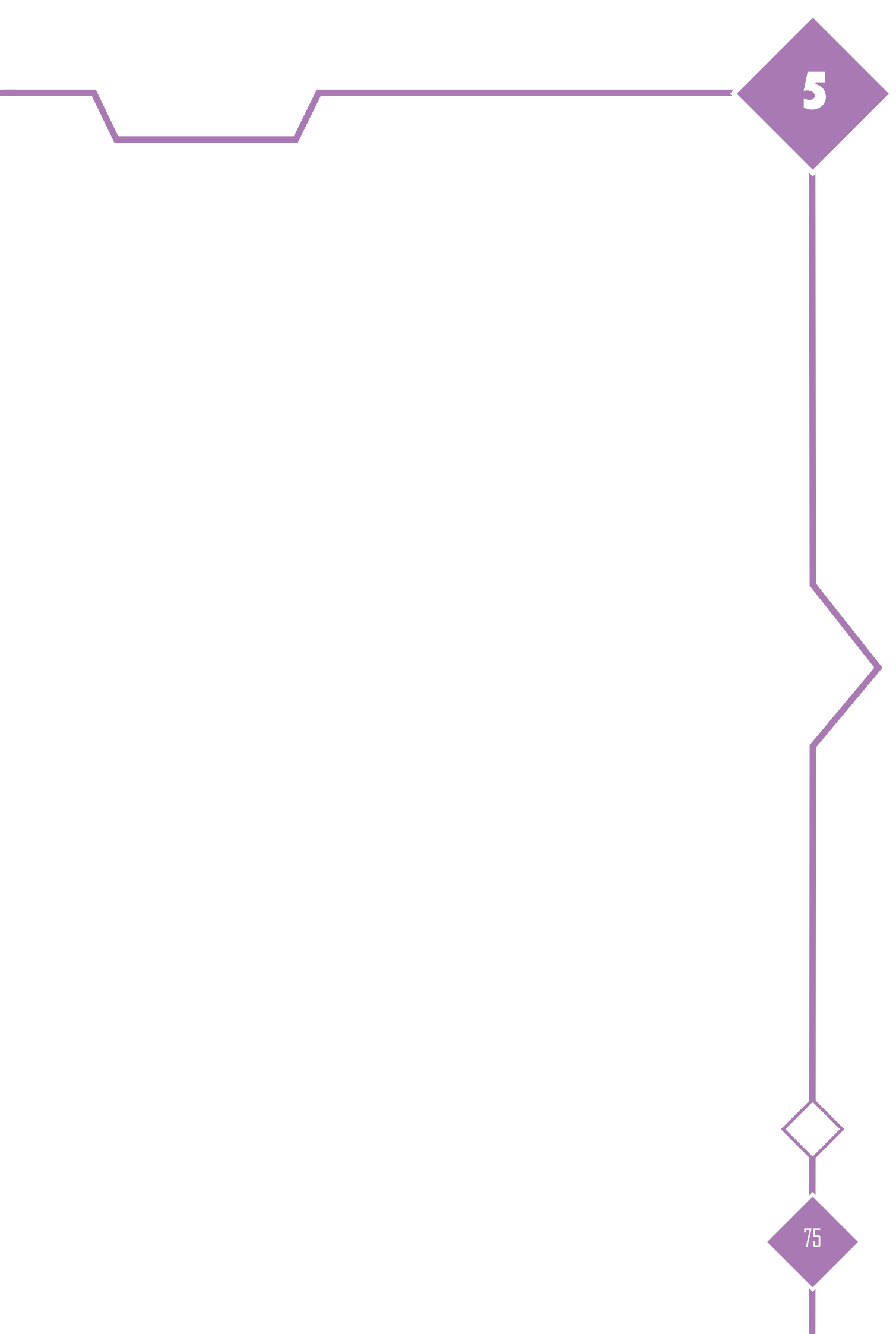
L'Autorité Nationale de Sécurité belge, le SSICF, a participé aux différentes réunions de la Task Force «Broken wheels» et transmis à l'ensemble des entreprises concernées en Belgique, les mesures décidées par la Task Force «Broken wheels».

5.2. MESURES PRISES PAR LA SOCIÉTÉ VTG

La société VTG a pris diverses mesures qui ont été transmises aux ateliers par voie de notices :

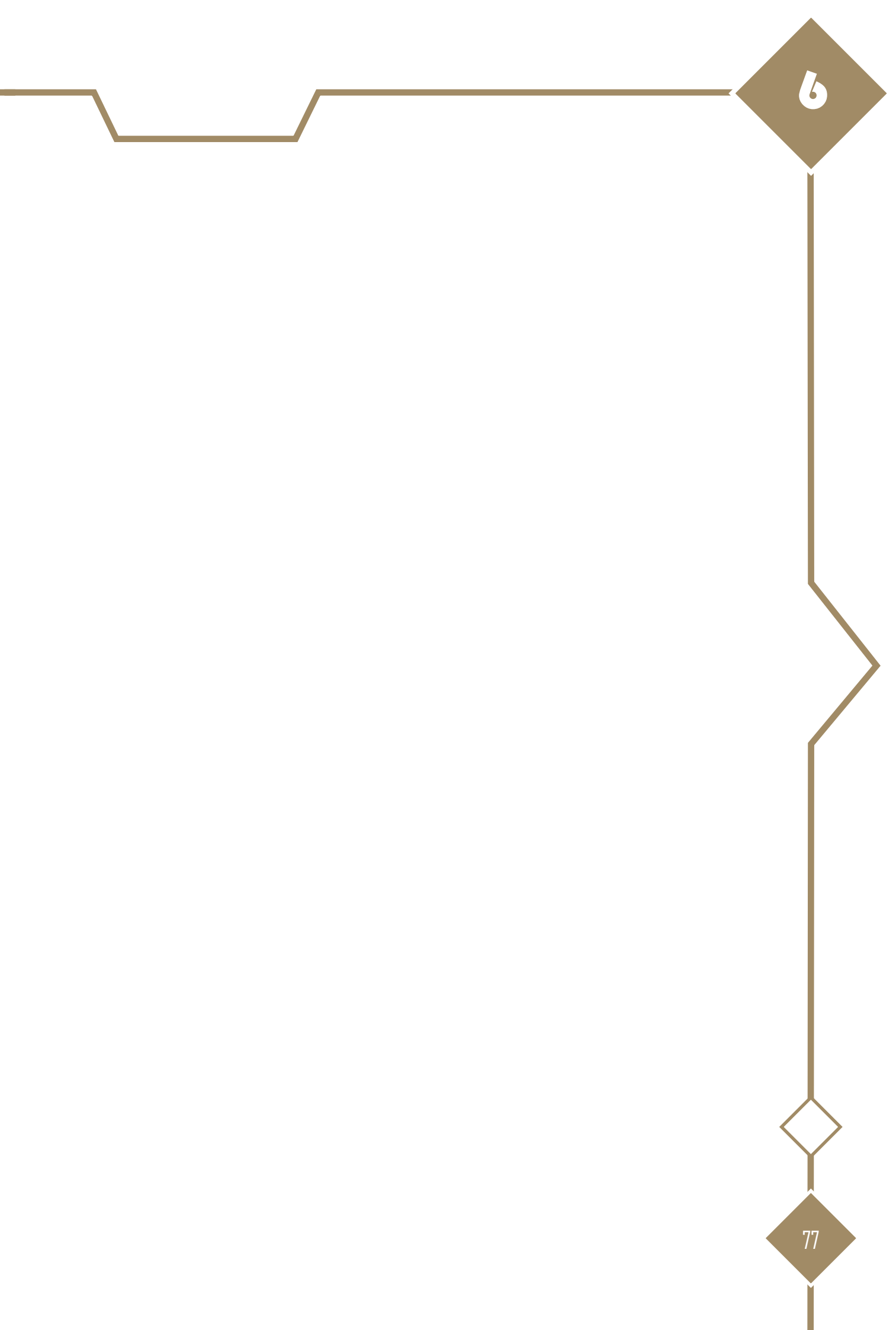
- 14/06/2017 : Notice permettant l'identification des wagons impliqués (types de roue, types de freins, marquage des wagons) ;
- 10/08/2017 : Inspection visuelle des roues pour rechercher d'éventuels dégâts et signes de surchauffe ;
- 14/09/2017 : Adaptation des freins sur certaines séries de wagons ;
- 21/09/2017 : Adaptation des freins sur certaines (autres) séries de wagons.

La société VTG a également réalisé une analyse en septembre 2017 : le but était de vérifier si des éléments du système pneumatique des freins des wagons du même type que le wagon 33 68 4952 072-9 devaient subir des adaptations.



6. RECOMMANDATIONS

Des mesures ont été prises par la société VTG et par le secteur via les mesures à court et long terme décidées par la Task Force «Broken wheels» du JNS (cf. chapitre 5) : l'OE n'émet pas de recommandation additionnelle.

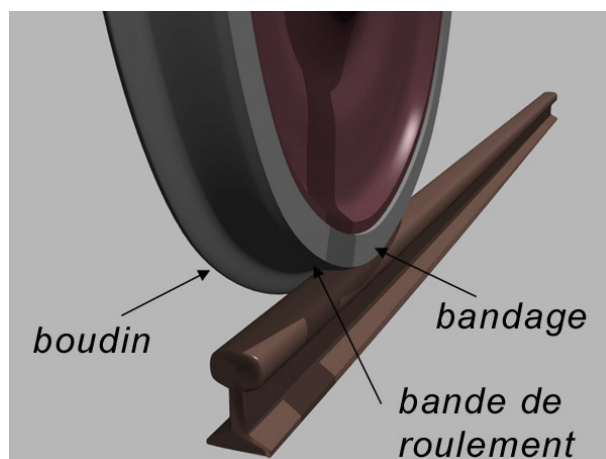


7. ANNEXES

7.1. CONICITÉ ÉQUIVALENTE

Sur une roue ferroviaire, on distingue :

- la bande de roulement (ou «table» de roulement) qui est en contact avec la surface du haut du rail (le champignon)
- le boudin qui assure le guidage en prenant appui sur les faces latérales du champignon.



La bande de roulement est une surface conique (conicité de la roue) pour :

- permettre la variation du rayon du cercle de roulement en contact avec le rail dans les courbes, et ainsi compenser la différence du chemin parcouru par les deux roues du même essieu ;
- recentrer dynamiquement l'essieu entre les rails.

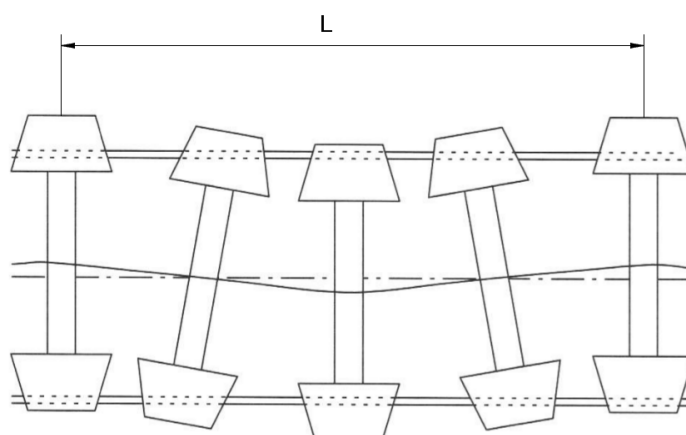
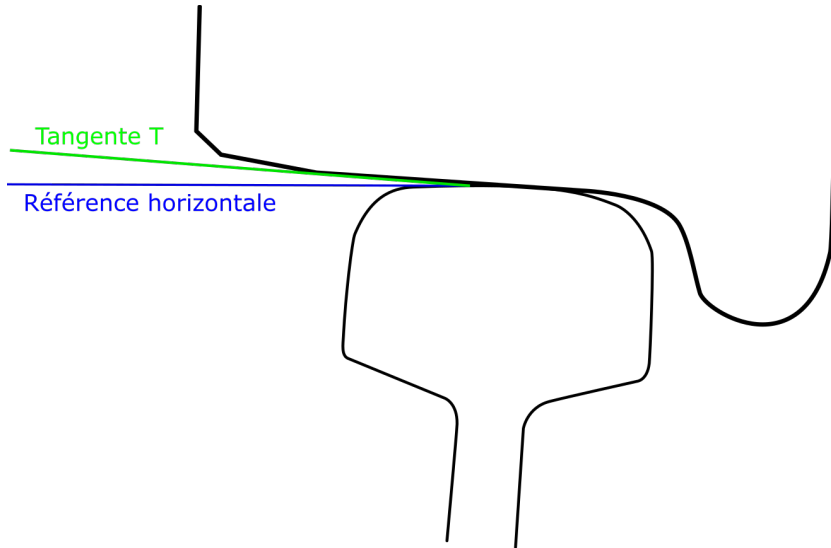


Illustration schématique du recentrage dynamique de l'essieu par la conicité des roues.

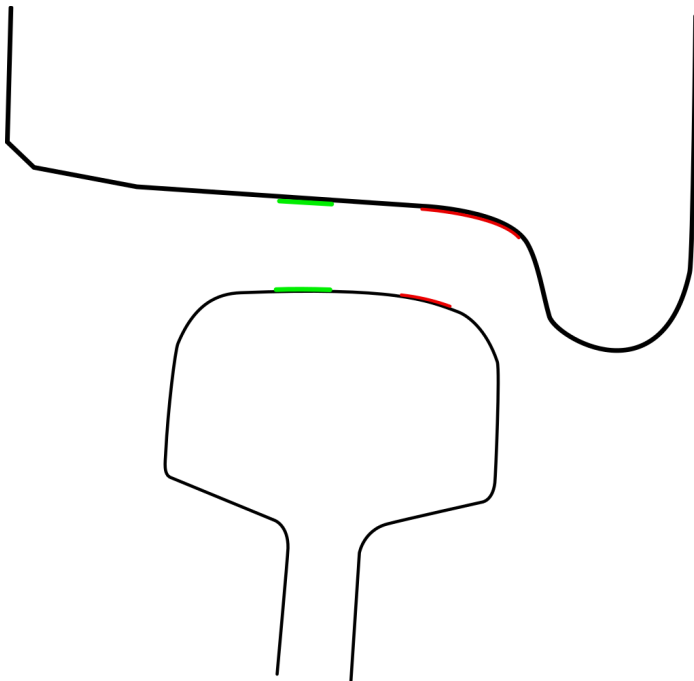
La conicité équivalente caractérise la pente de la tangente (par rapport à l'horizontale) au point de contact rail-roue.

Elle est sensible à la pose du rail, à l'usure, à l'écartement des fils de voie.



Lorsque les roues sont neuves, la zone de contact rail-roue est une zone rectiligne correspondant à la zone verte sur l'illustration ci-dessous.

Progressivement au fur et à mesure de l'utilisation et de l'usure de la roue, le profil se creuse et la zone de contact se déplace vers la zone rouge. La conicité effective augmente. Celle-ci génère un mouvement d'oscillation latérale de l'essieu, croissant avec elle. Ce mouvement occasionne une usure plus rapide du boudin et du rail. Pour rétablir une solidité suffisante du boudin, il faut alors réduire le diamètre de la bande de roulement par un reprofilage qui peut atteindre 9 à 10 mm.



7.2. DIFFÉRENCE DE SIGNE ENTRE LA VERSION FRANÇAISE ET LES VERSIONS EN ALLEMAND ET EN ANGLAIS DU GUIDE D'APPLICATION DES SEMELLES LL (V-BKS LL)

Partie 1 – Equipement des wagons équipés de semelles de frein composites LL

1.1 Configuration du frein des wagons

Les performances de freinage sont configurées pour des semelles en fonte grise. En cas d'application de semelles LL sur wagons neufs, elles doivent être configurées conformément au point 2.2 de la fiche UIC 544-1 pour la fonte P10 et de préférence sur la base des calculs standards de freinage des wagons selon l'Annexe O de la fiche UIC 544-1. Le calcul du frein peut, en alternative, être réalisé selon l'Annexe I de la fiche UIC 544-1.

Le champ d'application technique (valeurs de références) des semelles LL se définit comme suit :

- Vitesse maximum = 120 km/h
- Charge maximum par essieu 22,5 t
- Sabots de frein de configuration 2xBg ou 2xBgu
- Périmètre de déploiement : toutes lignes de l'espace UIC jusqu'à une déclivité de 40 ‰/oo

On peut se dispenser d'essais en cas d'installation de semelles LL, dès lors que les conditions ci-après sont remplies :

- Vitesse maximum < 120 km/h
- Charge maximum par essieu 22,5 t
- Roues freinées de part et d'autre (bilatéral) d'un diamètre nominal compris entre 920 et 1 000 mm compris
- Sabots de frein de type Bg ou Bgu
- Effort dynamique par sabot de 6 à 30 kN dans la configuration Bg et de 6 à 50 kN dans la

Teil 1 –Ausrüstung der Wagen mit V-BKS (LL)

1.1 Bremstechnische Auslegung der Wagen

Die Auslegung der Bremsleistung entspricht der für Graugussbremssohlen. Im Falle der Anwendung an Neubaugüterwagen soll diese nach UIC-MB 544-1, Pkt. 2.2. für GG – P10 erfolgen und vorzugsweise den Standardbremsberechnungen für Güterwagen gemäß Anlage O des UIC – MB 544-1 entsprechen. Die Bremsberechnung kann alternativ auch nach UIC – MB 544-1, Anlage I durchgeführt werden.

Das technische Einsatzfeld (Eckwerte) für LL-Sohlen ist definiert mit

- Höchstgeschwindigkeit ≤ 120 km/h,
- maximale Radsatzlast 22,5 t,
- Bremsklötze vom Typ 2xBg oder 2xBgu
- Einsatzbereich: alle Strecken im Bereich der UIC bis maximal 40 ‰ Neigung.

Auf Versuche bei Ausrüstung mit LL-Sohlen kann verzichtet werden, wenn folgende Voraussetzungen gegeben sind:

- Höchstgeschwindigkeit ≤ 120 km/h
- maximale Radsatzlast 22,5 t,
- zweiseitig abgebremste Räder mit Nenndurchmesser von 920 mm bis 1 000 mm
- Bremsklötze vom Typ Bg (geteilt) oder Bgu (geteilt, unterteilt)
- dynamische Kraft pro Bremsklötz bei Bg von 6 bis 30 kN, bei Bgu von 6 bis 50 kN!

Außerhalb der vorgenannten Randbedingungen ist das Bremsvermögen durch Versuche zu

Organisme d'Enquête sur les Accidents et Incidents Ferroviaires
<http://www.mobilite.belgium.be>

