



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST  
Service suisse d'enquête de sécurité SESE  
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI  
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Domaine rail et navigation

# Rapport final

## du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

sur le déraillement d'un train mar-  
chandises

du 25 avril 2015

à Daillens (VD)

N° reg.: 2015042501

## Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport a été exclusivement établi dans le but de prévenir les accidents et les incidents graves survenant lors de l'exploitation de chemins de fer, d'installations de transport à câble et de bateaux. Selon l'article 15 de la loi fédérale sur les chemins de fer (LCdF, RS 742.101) l'appréciation juridique des circonstances et des causes ne fait pas l'objet de la présente enquête.

Ce rapport ne vise donc nullement à établir des responsabilités ni à élucider des questions de responsabilité civile.

## Glossaire

ECM	Entité chargée de la maintenance
Certification ECM	Certification des systèmes de management pour l'entretien des wagons de fret selon le règlement UE N° 445/2011
OTIF	Organisation intergouvernementale pour les transports internationaux ferroviaires
CUU (AVV)	Contrat uniforme d'utilisation des wagons
ERA	European Railway Agency
VPI	Vereinigung der Privatgüterwagen-Interessenten
VPI 01 – 09	Documentation édictée par VPI concernant le contrôle et l'entretien des wagons
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
ZKE	Zugkontrollenrichtungen / dispositifs de contrôle des trains
RLC	Point de contrôle de la charge par roue du système ZKE (Abréviation allemande: Radlastcheckpoint) Force de contact de la roue = Radaufstandkraft Coefficient dynamique de la charge par roue = dynamischer Beiwert
HFO	Système de détection de boîtes d'essieux chaudes et freins serrés ( Abréviation allemande: Heissläufer-/Festbrems-Ortungsanlage)
DE-OCF	Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer
IWT	Institut für Werkstofftechnologie, Wallisellen
OFT	Office Fédéral des Transports
Code ONU	Code servant à l'identification des matières dangereuses
SGS-TUV	Organe indépendant de contrôle

## Table des matières

Résumé .....	7
Présentation succincte.....	7
Enquête .....	7
Causes .....	8
Recommandations de sécurité.....	8
1 Renseignements de base .....	12
1.1 Situation avant l'évènement .....	12
1.2 Déroulement de l'évènement.....	12
1.3 Dommages corporels .....	13
1.4 Dommages matériels .....	13
1.4.1 Infrastructure .....	13
1.4.2 Matériel roulant .....	13
1.4.3 Atteinte à l'environnement .....	14
1.5 Incendie .....	14
1.6 Personnes impliquées.....	14
1.6.1 Personnel de l'entreprise ferroviaire .....	14
1.6.2 Mécanicien .....	14
1.7 Entreprises impliquées.....	14
1.7.1 Entreprise de transport.....	14
1.7.2 Gestionnaire d'infrastructure.....	14
1.7.3 Propriétaires des wagons .....	14
1.8 Constatations médicales .....	14
1.9 Véhicules ferroviaires .....	15
1.9.1 Locomotives .....	15
1.9.2 Charge remorquée du train n° 60700 .....	15
1.9.3 Wagons.....	15
1.10 Constatations relatives aux véhicules ferroviaires .....	16
1.10.1 Locomotives .....	16
1.10.2 Wagons n° 1 à 16.....	16
1.10.3 Wagon n° 17 (076-3).....	16
1.10.4 Wagon n° 18 (893-3).....	16
1.10.5 Wagon n° 19 (424-4).....	17
1.10.6 Wagon n° 20 (432-7).....	18
1.10.7 Wagon n° 21 (217-2).....	18
1.10.8 Wagon n° 22 (105-6).....	18
1.11 Météo, état des rails.....	19
1.12 Constatations relatives à l'infrastructure ferroviaire .....	19

1.12.1	Installations de sécurité .....	19
1.12.2	Tracé et géométrie de la voie .....	19
1.12.3	Appareil de voie n° 17 desservant la bifurcation de la ligne en direction de Vallorbe .....	20
1.12.4	Appareil de voie n° 15 .....	20
1.12.5	Mâts supportant la ligne de contact .....	20
1.12.6	Rails-repères .....	20
1.13	Inspection des abords de la voie et recherche de pièces .....	21
1.13.1	Tronçon compris entre la gare d'Eclépens et le signal de Daillens .....	21
1.13.2	Tronçon compris entre le signal principal de la bifurcation de Daillens et le lieu du déraillement (plan en annexe 6) .....	21
1.14	Systèmes de sécurité ferroviaire .....	23
1.14.1	Infrastructure, dispositifs de contrôle des trains .....	23
1.14.2	Traitement des informations vigilance et alarme .....	25
1.14.3	Installations de contrôles franchies par le train n° 60700 le jour de l'accident ..	25
1.14.4	Analyse a posteriori des données enregistrées par les systèmes HFO et RLC	26
1.15	Tachygraphe .....	26
1.16	Contrôle technique du wagon n° 20 et préparation du train n° 60700 .....	27
1.17	Analyses particulières .....	28
1.17.1	Processus pour le montage des roulements d'essieux de type "BA 80" .....	28
1.17.2	Mesure géométrique des essieux des wagons n° 18 à 21 sur le site de Monthey .....	29
1.17.3	Inspection détaillée des essieux du wagon n° 20 .....	29
1.17.4	Contrôles additionnels en atelier des essieux du wagon n° 20 .....	31
1.17.5	Expertise métallurgique des composants de la boîte d'essieu 1 .....	32
1.17.6	Vérification de l'espace libre entre l'écrou et le couvercle de la boîte d'essieu .	36
1.17.7	Certification ECM et contrôle technique par VPI de l'entreprise Kaminski .....	37
1.17.8	Contrôle technique par VPI .....	38
2	Analyse .....	40
2.1	Aspects techniques du matériel roulant .....	40
2.1.1	Wagon n° 17 .....	40
2.1.2	Wagon n° 20 .....	40
2.1.3	Qualité de montage des boîtes d'essieux .....	41
2.1.4	Influence de l'absence de détecteurs de déraillement du wagon n° 20 .....	42
2.2	Aspects techniques de l'infrastructure .....	42
2.2.1	Annonce vigilance ZKE, contrôle, monitoring et interprétation .....	42
2.2.2	Rails-repères implantés en bordure de voie .....	43
2.2.3	Etat de la surface de roulement des roues et faux-rond en relation avec l'annonce ZKE .....	44

2.3	Corrélation entre les températures relevées par le système ZKE et la détérioration de la boîte d'essieu .....	44
2.3.1	Températures relevées à l'extrémité des paquets de lames de ressorts .....	44
2.3.2	Détérioration de la boîte d'essieu et tendance déductible des annonces ZKE ..	45
2.4	Processus, certification ECM et assessment technique VPI .....	45
2.4.1	Certification ECM de l'entité en charge de la maintenance .....	45
2.4.2	Assessment technique VPI .....	46
2.4.3	Efficacité de la certification ECM et de l'assessment technique VPI .....	46
2.5	Aspects environnementaux .....	46
3	Conclusions .....	47
3.1	Faits établis .....	47
3.2	Causes .....	49
4	Recommandations de sécurité et mesures prises après l'accident .....	50
4.1	Recommandations de sécurité .....	50
4.1.1	Rails-repères .....	50
4.1.2	Système de surveillance du dispositif de contrôle des trains ZKE .....	50
4.1.3	Paquet de lames de ressort trapézoïdales .....	51
4.1.4	Certification ECM des ateliers en charge de la maintenance .....	51
4.2	Mesures prises depuis l'accident .....	52
Annexe 1	.....	53
	Paquet de lames de ressort, températures relevées et forces induites .....	53
Annexe 2	.....	54
	Dessin du paquet de lames de ressort et emplacement des fissures .....	54
Annexe 3	.....	55
	Dessin de la boîte d'essieu .....	55
Annexe 4:	.....	56
	Documentation photographique établie suite à la visite de l'atelier de maintenance du 28 octobre 2015. ....	56
Annexe 5	.....	60
	Endommagement des citernes des wagons, cas Viareggio et Daillens .....	60
Annexe 6	.....	61

## Résumé

### Présentation succincte

Le samedi 25 avril 2015 à 2h49, les cinq derniers wagons du train marchandises n° 60700 reliant Bâle à Lausanne-triage ont déraillé en pleine voie au point kilométrique 19.0 sis sur la commune de Daillens. Le train était composé de 22 wagons dont 14 contenaient des marchandises dangereuses.

Quelques centaines de mètres avant l'endroit où les wagons déraillés se sont immobilisés, le 20ème wagon a perdu des pièces des organes de roulement de l'un de ses bogies. Lors du franchissement d'un appareil de voie situé peu avant une courbe à droite, le wagon a déraillé, s'est déporté sur la gauche de la voie, entraînant par effet dynamique, le renversement des deux wagons précédents, le renversement du wagon suivant ainsi que le déraillement du premier bogie du dernier wagon du train.

Les wagons n° 18 à 21, qui contenaient tous des produits chimiques, se sont renversés sur le côté. Lors du renversement des wagons, la citerne du wagon n° 19 qui contenait 25 tonnes d'acide sulfurique s'est abîmée, laissant échapper son contenu dans le terrain situé aux abords de la voie. En raison de la poussée des deux wagons situés derrière lui, le wagon n° 20 a effectué une rotation d'un demi-tour sur lui-même, avant de se renverser sur le bas-côté de la voie. Sa citerne a été endommagée, laissant échapper environ 3000 litres de soude caustique.

Suite au renversement du wagon n° 18, l'attelage reliant le dix-septième et le dix-huitième wagon s'est rompu. A cause des contraintes dynamiques générées lors du renversement des wagons, le premier essieu du wagon n° 17 a déraillé. Les deux locomotives ainsi que les 17 premiers wagons se sont immobilisés environ 600 mètres après l'endroit où les wagons se sont couchés.

### Enquête

L'accident s'est produit le 25 avril 2015 à 2h49. L'annonce a été reçue à 3h23. L'enquête a été ouverte le même jour par le Service suisse d'enquête de sécurité SESE en collaboration avec la police cantonale vaudoise.

Mesures particulières et enquête:

Le lundi 11 mai 2015, une inspection détaillée des wagons déraillés a été effectuée sur le site de Sygenta à Monthey en présence des représentants de l'entreprise de transport, des propriétaires des wagons ainsi que de la police cantonale vaudoise.

Suite à l'inspection des wagons, le SESE a mandaté la maison IWT à Wallisellen pour effectuer une expertise métallurgique d'une partie des pièces des organes de roulement du wagon n° 20.

Le 2 juin 2015, le SESE a eu un entretien avec les responsables de l'infrastructure en charge du système ZKE et procédé à l'analyse des données enregistrées par le système ZKE.

Le 28 octobre 2015, le SESE a procédé à une inspection dans les locaux de l'entreprise Kaminski à Hameln (D) qui avait effectué la révision des bogies du wagon n° 20.

## Causes

La cause directe du déraillement du train n° 60700 à Daillens est la perte de la boîte d'essieu avant gauche du wagon n° 20.

La perte de cette boîte d'essieu est le résultat d'un long processus, initié lors des travaux de maintenance de ladite boîte d'essieu en août 2011. Lors de cette opération, le disque de sécurité de l'écrou cannelé qui fixe le roulement sur la fusée de l'essieu n'a pas été assuré correctement. Petit à petit, l'écrou cannelé s'est dévissé ce qui a provoqué, au fur et à mesure, les dégradations suivantes:

- sollicitation des galets du roulement de la boîte d'essieu dans le sens transversal,
- augmentation des déplacements latéraux de l'essieu 1 et apparition d'excoriations en forme de "S" sur la table de roulement des roues de cet essieu,
- fatigue puis fissure des lames de ressort de la suspension primaire de l'essieu 1 gauche.

Finalement ces dégradations ont provoqué le déraillement du wagon n° 20 à Daillens.

Les résultats des investigations ont permis de mettre en évidence le facteur contributif suivant:

la certification ECM et les contrôles VPI n'ont pas permis de détecter de manquements dans le système de qualité du traitement des essieux au sein de l'entité en charge de la maintenance du wagon n° 20.

## Recommandations de sécurité

Sur la base des irrégularités constatées durant l'enquête et conformément à l'article 44 de l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (RS 742.161), le service d'enquête a remis à l'OFT un rapport intermédiaire contenant deux recommandations de sécurité, en date du 12 novembre 2015.

Le 7 décembre 2015, l'OFT a informé le SESE de l'état de la mise en œuvre des deux recommandations de sécurité.

## Recommandations de sécurité émises dans le rapport intermédiaire

### Mesures correctives dans le processus de montage des boîtes d'essieux

Déficit de sécurité

La présence de corps étrangers solides (d'origine minérale ou sous forme de restes de particules métalliques) dans la graisse de roulements de boîtes d'essieux peut provoquer le blocage des galets du roulement, puis engendrer un échauffement rapide qui peut induire la destruction du roulement. Le blocage d'un roulement d'essieu peut provoquer le déraillement d'un wagon.

La présence de liquide de nettoyage dans le roulement d'une boîte d'essieu ne représente pas de danger immédiat de blocage d'un roulement, mais dégrade la qualité de la graisse. Une graisse dégradée peut, au fil et du temps, provoquer un échauffement du roulement et engendrer une dégradation progressive du roulement avant qu'il n'ait atteint la prochaine échéance d'entretien.

### Recommandation de sécurité n° 86

Le SESE a recommandé à l'OFT de faire procéder, par le biais de l'organe de certification, à des mesures correctives immédiates dans le processus de montage des roulements des boîtes d'essieux auprès de l'atelier de maintenance accrédité ECM.

La réponse de l'OFT sur la mise en œuvre de la recommandation de sécurité n° 86 a été la suivante:

*"L'atelier de maintenance inspecté par le SESE le 28 octobre 2015, est en possession d'un certificat pour la fonction d'exécution de l'entretien conformément à la directive européenne (EU) n° 445/2011. Au regard de l'article 5j alinéa 2 EBV, l'organisme de certification a procédé, les 11 et 12 novembre 2015, à un audit de surveillance réactif. Les améliorations potentielles démontrées par l'organisme de certification ont été immédiatement mise en œuvre par l'atelier.*

*Un deuxième audit conduit, le 16 novembre 2015, par un expert spécialiste en essieux a confirmé l'efficacité des mesures mises en œuvre. Cette recommandation de sécurité a été mise en œuvre."*

### **Information aux détenteurs de wagons relative à danger potentiel au niveau des boîtes d'essieux**

#### Déficit de sécurité

Les défauts de qualité dans la maintenance des boîtes d'essieux, tels que ceux constatés, lors de l'inspection du 28 octobre 2015, peuvent toucher un nombre considérable de boîtes d'essieux actuellement en service. Ils constituent un déficit de sécurité latent.

#### **Recommandation de sécurité n° 87**

Le SESE a recommandé à l'OFT d'informer les propriétaires de wagons dont les essieux ont été entretenus par l'entreprise qui a effectué la révision des essieux du wagon 3380 7874 432-7, que les essieux de ces wagons peuvent présenter des irrégularités au niveau de leurs organes de roulements, afin que les détenteurs de ces wagons puissent procéder à des contrôles et au besoin prendre les mesures correctives adéquates.

La réponse de l'OFT concernant la mise en œuvre de la recommandation de sécurité n° 87 a été la suivante:

*"L'atelier a présenté à l'OFT les démarches prévues concernant les boîtes d'essieux qui pourraient être défectueuses. Il a déterminé la période durant laquelle l'entretien a présenté des défaillances et déterminé le nombre d'essieux concernés. En tout, 1300 essieux, traités dans la période comprise entre le 2 janvier et le 28 octobre 2015, peuvent être concernés. Selon une affirmation de l'atelier, les contrôles par sondages effectués sur les essieux traités durant ladite période, n'ont démontré aucune irrégularité.*

*Après concertation avec l'OFT, les mandataires concernés ainsi que les entités ECM ont été informés directement par l'atelier de maintenance. Les entités ECM sont priées de vérifier les points en question, et au besoin, de prendre les mesures nécessaires. De ce fait, l'OFT a renoncé à avertir directement les mandataires ainsi que les entités ECM. Cette recommandation de sécurité a été mise en œuvre".*

### **Recommandations de sécurité découlant du présent rapport**

#### **Rails-repères**

##### Déficit de sécurité

Lorsqu'un wagon citerne se renverse lors d'un déraillement, la présence en bord de voie d'éléments saillants, tels que les rails-repères, peut engendrer un endommagement de l'enveloppe du wagon et provoquer l'écoulement du contenu qui peut représenter divers dangers pour l'homme et l'environnement. Comme ces rails-repères ne sont plus utilisés aujourd'hui, leur suppression permettrait de diminuer considérablement ce risque.

**Recommandation de sécurité n° 93**

Afin de diminuer le risque d'endommagement de wagons lors d'un déraillement, le SESE recommande à l'OFT, de faire procéder rapidement à la suppression des rails-repères saillants encore implantés en bordure de voie.

**Système de surveillance du dispositif de contrôle des trains ZKE**

## Déficit de sécurité

Actuellement, aucune prescription ou norme standardisée ne fixe une valeur limite pour le coefficient de charge dynamique de roue (dynamischer Beiwert) RLC. De plus, il n'existe aucun catalogue des irrégularités probables pouvant être à l'origine d'une telle annonce.

Lorsque qu'une annonce "boîte chaude" ou "frein serré" est émise, la cause de l'irrégularité peut être facilement identifiée. A contrario, comme l'a démontré l'accident en question, une détérioration à l'intérieur d'une boîte d'essieu peut engendrer une vibration, mais ne pas encore engendrer une augmentation détectable de la température de la boîte d'essieu. Il est difficile pour une entreprise de transport, qui ne dispose pas de la connaissance des éléments qui pourraient être à l'origine d'un tel défaut, d'interpréter le défaut et de prescrire des mesures de contrôles adéquates. Pourtant, une intervention rapide sur une boîte d'essieu en cours de dégradation permettrait de réduire considérablement le risque de destruction de la boîte et donc le risque de déraillement, dans le cas où le roulement venait à se bloquer ou si la boîte commençait à se désolidariser.

**Recommandation de sécurité n° 94**

Le SESE recommande à l'OFT d'encourager le déploiement du système de mesure du coefficient de charge dynamique de roue, de faire établir une base technique standardisée indiquant des valeurs limites de défauts ainsi qu'un catalogue des défauts associés à une telle annonce, afin que les entreprises de transports puissent, lors de la réception d'une annonce, prescrire des mesures de contrôles adéquates.

**Paquet de lames de ressort trapézoïdales**

## Déficit de sécurité

Les paquets de lames de ressort sont des éléments primordiaux d'un essieu monté. Ils sont l'un des garants du contact roue-rail. La rupture d'un paquet de lames de ressort provoque une asymétrie au niveau de l'essieu, et peut, en fonction de la géométrie de la voie et des conditions de charge de l'essieu, engendrer le délestage d'une roue et conduire à un déraillement.

Les valeurs du diagramme de force obtenues lors du contrôle sur le banc d'essai d'un paquet de lames de ressort peuvent très bien rester dans les limites de tolérances admises alors même qu'une ou plusieurs lames présentent des amorces de fissures. La détection visuelle des fissures dans un paquet de lames de ressort comportant huit lames montées l'une sur l'autre n'est pas possible. Lors de la révision, le contrôle du diagramme de force à lui seul ne permet pas de garantir que le paquet de lames de ressort soit exempt de fissures qui sont elles-mêmes les prémisses d'une rupture probable du paquet de lames de ressort.

**Recommandation de sécurité n° 95**

Le SESE recommande à l'OFT de faire adapter les spécifications techniques du contrôle des lames de ressort lors des révisions afin qu'en plus de la vérification du diagramme de force, un contrôle supplémentaire permettant de détecter d'éventuelles amorces de fissures dans les lames soit prescrit.

**Certification ECM des ateliers en charge de la maintenance**

## Déficit de sécurité

En matière de sécurité, les essieux des wagons sont des organes importants du matériel roulant.

Le système de certification actuel fonctionne sur la base de principes économiques qui prévalent souvent au détriment de la sécurité. Comme le démontre l'accident en question, lors des audits annuels, l'organisme de certification n'a pas effectué lui-même la totalité de l'audit, mais pour la partie "travail en atelier" a utilisé comme référence, l'assessment technique effectué par un organisme géré et représenté au sein de sa structure par les propriétaires de wagons. Bien que conforme, cette pratique soulève la question de la garantie de l'indépendance dans une démarche de certification.

**Recommandation de sécurité n° 96**

Le SESE recommande à l'OFT de faire adapter la réglementation ECM concernant la certification des entités en charge de la maintenance afin que la certification et les audits des ateliers en charge de la maintenance (fonction "d" du système ECM) ne soit plus déléguée à des organismes tiers, mais placée sous la responsabilité des autorités nationales de surveillance.

# 1 Renseignements de base

## 1.1 Situation avant l'évènement

Le 25 avril 2015, le train marchandises n° 60700, composé de 22 wagons dont 14 contenaient de la marchandise dangereuse, d'une longueur de 325 mètres et d'un poids de 1120 tonnes, tractés par deux locomotives en unité multiple, circulait de Bâle RB à destination de Lausanne-Triage. Ensuite, un autre train marchandises devait acheminer ces wagons de Lausanne-Triage chez le destinataire final à Monthey. Le train n° 60700 a quitté la gare de Bâle Rangierbahnhof (RB) vers minuit et quart. Entre la gare initiale et le lieu du déraillement, le mécanicien n'a constaté aucune irrégularité à son convoi.

## 1.2 Déroulement de l'évènement

A 2h49, alors que le train n° 60700 circulait à la hauteur de la bifurcation de Dailens (plan en annexe 6), le mécanicien a ressenti des à-coups sous forme de va-et-vient dans son train. Il a ouvert les rétroviseurs de la cabine afin d'observer l'arrière de son convoi et a constaté que des étincelles jaillissaient des wagons situés en queue du train. Au même moment, il a constaté, par l'intermédiaire du manomètre de la conduite générale du frein, que la pression de cette conduite chutait. Il a déclenché en sus un serrage à fond au moyen du frein automatique. La tête de son convoi s'est immobilisée au point kilométrique 18.2, quelques centaines de mètres après l'endroit où les wagons se sont couchés sur le côté. Le mécanicien a enclenché le signal d'alerte par l'intermédiaire des trois feux rouges frontaux de la locomotive, puis a informé de l'accident le centre d'exploitation CFF de Lausanne.

Lorsque le mécanicien s'est rendu en queue du train, il a constaté que seuls 17 des 22 wagons étaient encore accrochés à son convoi.



**Illustration 1:** emplacement final des wagons après le déraillement; flèche jaune: sens de circulation du train; tache noire au sol: écoulement de l'acide sulfurique.

### 1.3 Dommages corporels

Aucun.

### 1.4 Dommages matériels

#### 1.4.1 Infrastructure

##### 1.4.1.1 Voie

Entre l'endroit où le premier bogie du wagon n° 20 a déraillé et l'emplacement final des wagons, la voie a subi des dégâts considérables sur environ 300 m. Trois appareils de voie ont été détruits. Sur les 600 m suivants, les traverses en béton ont été endommagées par l'essieu déraillé du wagon n° 17.

##### 1.4.1.2 Ligne de contact

Lorsque les wagons ont basculé sur le côté gauche de la voie, plusieurs mâts métalliques supportant la ligne de contact ont été arrachés.

##### 1.4.1.3 Installation de sécurité

Les caniveaux à câbles situés sur le côté gauche de la voie ont été arrachés. En raison de l'important retrait des câbles consécutif à l'arrachage des caniveaux, les châssis, supportant les installations intérieures de l'appareil d'enclenchement installées dans un bâtiment situé environ 300 mètres en amont du lieu de déraillement, ont été arrachés.



**Illustration 2:** dégâts aux installations de l'appareil d'enclenchement.

#### 1.4.2 Matériel roulant

Le wagon n° 17 a subi des dommages au bogie arrière. Les wagons n° 18 à 21 ont été fortement endommagés. Le wagon n° 22 a subi des dommages au bogie avant.

### 1.4.3 **Atteinte à l'environnement**

Le déversement des produits chimiques a contaminé le sol dans les environs immédiat de la voie. Vingt-cinq tonnes d'acide sulfurique ainsi qu'environ 3000 litres de soude caustique se sont écoulés et ont été absorbés par le terrain. Dans cette zone, les terres polluées ont été éliminées. La nappe phréatique située en contrebas de la voie n'a pas été contaminée.

La direction générale de l'environnement du canton de Vaud a supervisé les travaux d'assainissement. Le rapport établi par cette instance n'est pas en possession du SESE.

### 1.5 **Incendie**

Aucun incendie ne s'est déclaré.

### 1.6 **Personnes impliquées**

#### 1.6.1 **Personnel de l'entreprise ferroviaire**

Dans le cadre de l'enquête, aucune infraction concernant les temps de travail et de repos du mécanicien n'a été constatée.

#### 1.6.2 **Mécanicien**

Mécanicien CFF-Cargo, année 1955.

Permis OFT catégorie B.

### 1.7 **Entreprises impliquées**

#### 1.7.1 **Entreprise de transport**

CFF-Cargo SA, Olten.

#### 1.7.2 **Gestionnaire d'infrastructure**

CFF-Infrastructure SA.

#### 1.7.3 **Propriétaires des wagons**

Les propriétaires des wagons qui ont subi des dégâts (wagons n° 17 à 22) sont mentionnés avec l'immatriculation complète des wagons sous le chiffre 1.9.3.

### 1.8 **Constatations médicales**

Le contrôle de l'alcoolémie du mécanicien s'est avéré négatif (0.00‰).

Aucun élément relatif à l'état de santé du personnel de l'entreprise ferroviaire n'a pu avoir une influence sur le déroulement de l'accident.

## 1.9 Véhicules ferroviaires

### 1.9.1 Locomotives

Le train n° 60700 était tracté par deux locomotives en unité multiple.

1<sup>ère</sup> locomotive: Re 420 n° 11256, propriété CFF-Cargo SA

2<sup>ème</sup> locomotive: Re 620 n° 11608, propriété CFF-Cargo SA

### 1.9.2 Charge remorquée du train n° 60700

Nombre de wagons:	22
Nombre d'essieux:	68
Longueur:	325 m
Poids:	1120 t
Poids-frein:	867 t
Vmax:	100 km/h
Catégorie:	D 75%

### 1.9.3 Wagons

#### 1.9.3.1 Wagons n° 1 à 16

Sur les 16 wagons, 9 contenaient de la marchandise dangereuse identifiée par code ONU.

#### 1.9.3.2 Wagon n° 17 (076-3)

Wagon porte-conteneurs à deux essieux.

Identification UIC: 27 55 4432 076-3.

Propriétaire: Touax Rail Ltd, F-92806 Puteaux.

Chargement: un conteneur contenant du liquide inflammable, code ONU 30 – 1993.

#### 1.9.3.3 Wagon n° 18 (893-3)

Wagon citerne à deux essieux.

Identification UIC: 23 80 7378 893-3.

Propriétaire: BASF Deutschland, D-67056 Ludwigshafen.

Chargement : 26 t, diphénylméthane, code ONU 60 – 2651.

#### 1.9.3.4 Wagon n° 19 (424-4)

Wagon citerne à deux essieux.

Identification UIC: 23 85 7376 424-4.

Propriétaire: VTG Schweiz, CH- 4052 Basel.

Chargement : 25 t acide sulfurique, code ONU 80 – 1830.

#### 1.9.3.5 Wagon n° 20 (432-7)

Wagon citerne à quatre essieux.

Identification UIC: 33 80 7874 432-7.

Propriétaire: VTG Deutschland, D- 20097 Hamburg.

ECM partie d: Kaminski Waggonbau, D-Hamel.

Chargement : 54 t, soude caustique, code ONU 80 – 1824.

Depuis la révision des bogies par l'entreprise Kaminski en août 2011, ce wagon a parcouru environ 43 000 km. Depuis janvier 2015 jusqu'au jour du déraillement, il a circulé uniquement sur le réseau suisse et a parcouru environ 4000 km. Les essieux d'une conception datant du début des années 1970 sont du type BA80.

La citerne a également été contrôlée par l'organe indépendant SGS-TUV en date du 17 août 2011.

#### 1.9.3.6 Wagon n° 21 (217-2)

Wagon citerne à quatre essieux.

Identification UIC: 33 85 7929 217-2.

Propriétaire: VTG Schweiz, CH- 4052 Basel.

Chargement : 27 t, acide chlorhydrique, code ONU 80 – 1789.

#### 1.9.3.7 Wagon n° 22 (105-6)

Wagon porte-conteneurs à quatre essieux.

Identification UIC: 37 80 4565 105-6.

Propriétaire: ERR Deutschland, D-47059 Duisburg.

Chargement: deux conteneurs de matériel inerte.

### 1.10 Constatations relatives aux véhicules ferroviaires

Afin de simplifier la compréhension, les essieux des wagons ont été numérotés de 1 à 4 dans sens de marche du train. De ce fait, il peut résider une différence avec la numérotation des essieux figurant dans la documentation d'entretien.

#### 1.10.1 Locomotives

Les deux locomotives étaient en ordre. Tous les systèmes de sécurités étaient fonctionnels.

#### 1.10.2 Wagons n° 1 à 16

Les wagons n° 1 à 16 ont été contrôlés visuellement. Tous les wagons étaient en ordre. Aucune pièce n'a été perdue par ces wagons.

#### 1.10.3 Wagon n° 17 (076-3)

Au niveau des organes de roulement, aucune pièce ne manquait. Toutes les semelles de frein étaient en place.

L'essieu avant a déraillé sur la droite de la voie dans le sens de marche. La roue droite de l'essieu avant présentait, sur une partie de sa circonférence, de fortes traces d'usure.

#### 1.10.4 Wagon n° 18 (893-3)

Les boudins ne présentaient aucune trace de déraillement consécutive à un roulement sur des traverses.

Une partie du manteau métallique extérieur de la citerne ainsi que son isolation ont été arrachés suite au choc avec un mât de la ligne de contact.

### 1.10.5 Wagon n° 19 (424-4)

Les boudins ne présentaient aucune trace de déraillement consécutive à un roulement sur des traverses.

Un impact consécutif à un choc avec un mât de la ligne de contact était visible sur la partie supérieure de la face avant de la citerne. A cet endroit, la citerne présentait un légère ouverture.

Sur le bas de la partie latérale gauche, la citerne a été éventrée en deux endroits. L'ouverture la plus importante a une largeur d'environ 10 cm sur une longueur d'environ 2 m (illustration 4).



**Illustration 3:** wagons n° 18 et 19.



**Illustration 4:** citerne du wagon n° 19 éventrée, après démontage du manteau extérieur et de l'isolation.

### 1.10.6 Wagon n° 20 (432-7)

Le wagon a effectué un demi-tour sur lui-même.

La boîte d'essieu<sup>1</sup> avant gauche de l'essieu n° 1 manquait.

Le paquet de lames de ressort gauche du même essieu manquait également.

Toutes les autres pièces (jumelles et axes) appartenant au système de suspension gauche de l'essieu avant ont été retrouvées au sol entre l'endroit où l'essieu a déraillé et l'emplacement final des wagons.

Les boudins de roues ne présentaient aucune trace de déraillement consécutives à un roulement sur des traverses.

Le wagon n'est pas équipé de détecteurs de déraillement.

La citerne a été légèrement endommagée sur la partie arrière en contact avec le sol.



**Illustration 5:** wagon n° 20 (le wagon a effectué un demi-tour sur lui-même avant de se retourner); cadre rouge: détail de la fusée d'essieu<sup>2</sup> sans la boîte.

### 1.10.7 Wagon n° 21 (217-2)

Le wagon s'est couché sur le côté droit, sur la voie adjacente.

Les boudins ne présentaient aucune trace de déraillement consécutives à un roulement sur des traverses.

### 1.10.8 Wagon n° 22 (105-6)

Seul le bogie avant a déraillé.

---

<sup>1</sup> Boîte d'essieu: organe situé en bout d'essieu contenant le roulement.

<sup>2</sup> Fusée d'essieu: extrémité de l'axe d'essieu sur laquelle est monté le roulement.



Illustration 6: wagons n° 21 et 22.

### 1.11 Météo, état des rails

Nuit, rails secs, température 11°C.

### 1.12 Constatations relatives à l'infrastructure ferroviaire

#### 1.12.1 Installations de sécurité

La bifurcation de Daillens est équipée d'une installation de sécurité du type Simis-C, télécommandée par l'intermédiaire du système Ittis, depuis le centre de gestion du trafic de Lausanne. Le système Ittis est doté, entre autres, d'un enregistrement vidéo permettant de retracer les itinéraires établis, l'état d'occupation des voies ainsi que la position et l'état des appareils de voie.

La vidéo du système Ittis démontre que l'itinéraire du train n° 60700 était établi par les voies 612/51/1 et que la position des appareils de voie n° 17 et 15 concordait avec l'itinéraire établi. A 2h49 min et 20 s, ces deux appareils de voie ont été annoncés en dérangement. Trois secondes plus tard, toutes les voies présentaient une occupation et tous les appareils de voie étaient annoncés en dérangement.

#### 1.12.2 Tracé et géométrie de la voie

##### 1.12.2.1 Tracé de la voie 612 / 51 entre Eclépens et Daillens

Depuis le dernier appareil de voie de la gare d'Eclépens situé au point kilométrique 20.1 jusqu'au km 19.4, soit peu après le signal de la bifurcation de Daillens, le tracé de la voie 612 / 51 est rectiligne.

A la hauteur du bâtiment des installations de sécurité de Daillens (km 19.326), la voie 51 amorce une courbe à droite avant de relier les appareils de voie de la bifurcation de la ligne de Vallorbe.

Au point kilométrique 19.4, les traverses passent du type béton au type bois.

##### 1.12.2.2 Dernier contrôle géométrique par le véhicule de mesure CFF

Les voies 612 / 51 entre Eclépens et Daillens ont été inspectées le 10 mars 2015, soit 6 semaines avant le présent accident, par le véhicule de mesure de la géométrie de la voie des CFF. Lors de cette mesure dynamique, toutes les valeurs relevées se situaient dans les limites de tolérances.

### 1.12.2.3 Contrôle de la géométrie de la voie après l'accident

Sur demande du SESE, la géométrie de la voie a été contrôlée statiquement, (écartement et dévers), entre le signal de la bifurcation de Daillens (km 19.480) et le bâtiment des installations de sécurités (km 19.350), soit dans le secteur où les premières pièces des bogies des wagons ont été retrouvées en bordure de voie.

Tant l'écartement de la voie que la variation du dévers en fonction du temps ( $dd/dt$ ) ainsi que le gauche<sup>3</sup> ( $dd/dl$ ) de la voie étaient en ordre.

### 1.12.3 Appareil de voie n° 17 desservant la bifurcation de la ligne en direction de Vallorbe

Les premières traces de déraillement sont visibles peu après le cœur de l'appareil de voie n° 17. Lorsqu'un train circule en direction de Lausanne, cet appareil de voie est abordé par le talon.

### 1.12.4 Appareil de voie n° 15

L'appareil de voie n° 15 situé environ 100 m après l'appareil de voie n° 17 a été complètement détruit.

### 1.12.5 Mâts supportant la ligne de contact

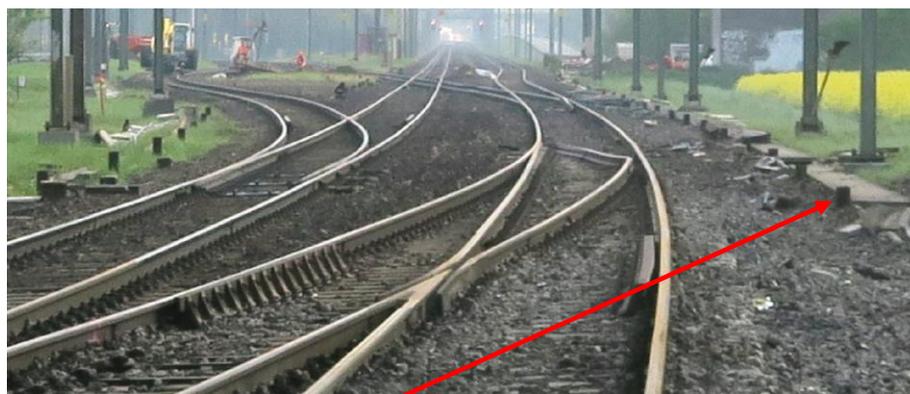
Plusieurs mâts supportant la ligne de contact ont été arrachés lors du renversement des wagons.

### 1.12.6 Rails-repères

Au bord de la voie des coupons de rails appelés communément "rails-repères" sont implantés verticalement dans le ballast. La partie visible du rail-repère dépasse le niveau du ballast d'une trentaine de centimètres.

Avec le système actuel de contrôle de la géométrie de la voie par les trains de mesure, ces rails-repères sont devenus inutiles. Comme point de repère local de remplacement, des goujons ont été fixés sur la partie inférieure des mâts métalliques supportant la ligne de contact.

A l'endroit où les wagons se sont renversés, plusieurs rails-repères implantés le long du canal à câbles sur le côté gauche de la voie ont été pliés.



**Illustration 7:** aperçu des rails-repères dans la courbe précédant l'endroit où les wagons se sont renversés. Lame d'aiguille cassée suite à l'accident.

<sup>3</sup> Gauche: variation de dévers par unité de longueur de voie.



**Illustration 8:** cercle rouge: rail-repère plié dans la zone de renversement des wagons.

## **1.13 Inspection des abords de la voie et recherche de pièces**

### **1.13.1 Tronçon compris entre la gare d'Eclépens et le signal de Daillens**

La voie entre la gare d'Eclépens et le signal de la bifurcation de Daillens, situé au point kilométrique 19.480, a été inspectée par le SESE à la recherche de pièces qui auraient été perdues par les wagons du train n° 60700.

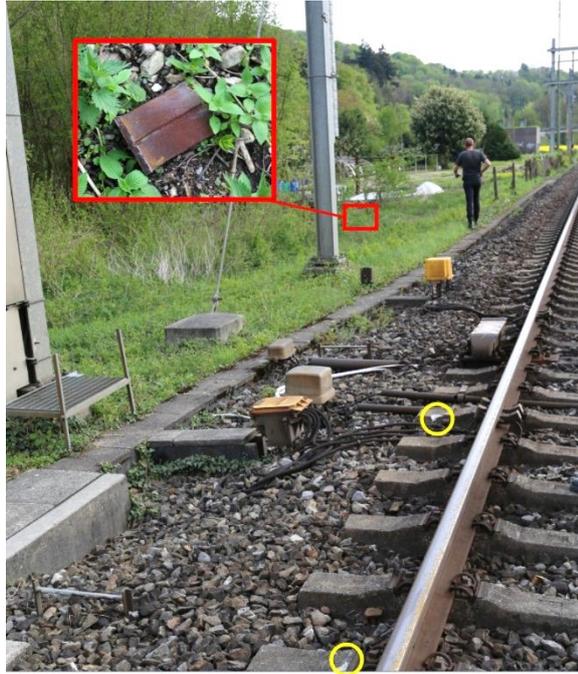
Sur ce tronçon de voie, aucune pièce n'a été retrouvée.

### **1.13.2 Tronçon compris entre le signal principal de la bifurcation de Daillens et le lieu du déraillement (plan en annexe 6)**

#### **1.13.2.1 Signal de la bifurcation de Daillens**

Quelques mètres avant le signal principal de la bifurcation de Daillens sur deux traverses en béton à l'extérieur du rail gauche, deux impacts importants sont visibles.

Une inspection visuelle des abords de la voie dans ce secteur n'a pas permis de retrouver les pièces ayant provoqués ces impacts. Une fouille approfondie de la zone a été effectuée par la police à l'aide d'un détecteur de métal. Dans les fougères sur le côté gauche de la voie, à une distance d'environ 15 mètres de l'axe de la voie, deux morceaux de lames de ressort (suspension du wagon n° 20) ont été retrouvés (illustration 9).



**Illustration 9:** impacts et pièces retrouvées à la hauteur du signal km 18.4; cercles jaunes: impacts sur les traverses en béton; rectangle rouge: emplacement où les deux morceaux de lames de ressort ont été retrouvés.

#### 1.13.2.2 Point kilométrique 19.340

Au point kilométrique 19.340, soit environ 140 mètres après les impacts relevés sur les traverses en béton, une entretoise métallique (illustration 10) a été retrouvée à côté du rail gauche.



**Illustration 10:** entretoise métallique.

#### 1.13.2.3 Point kilométrique 19.290

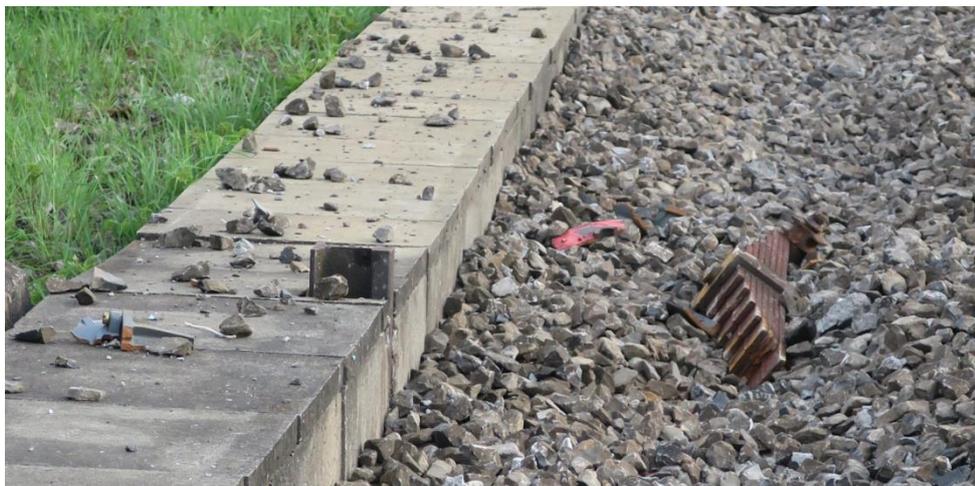
Au point kilométrique 19.290, au pied du signal nain 51B, soit environ 190 mètres après les impacts relevés sur les traverses en béton, une boîte d'essieu a été retrouvée, près du caniveau à câbles, sur le côté gauche de la voie (illustration 11).



**Illustration 11:** boîte d'essieu près d'un rail-repère sur le côté gauche de la voie.

#### 1.13.2.4 Point kilométrique 19.200

Au point kilométrique 19.200, soit environ 280 mètres après les impacts relevés sur les traverses en béton, un paquet de lames de ressort ainsi que diverses pièces de la suspension d'un wagon ont été retrouvés sur le bord gauche de la voie.



**Illustration 12:** paquet de lames de ressort du wagon n° 20.

## 1.14 Systèmes de sécurité ferroviaire

### 1.14.1 Infrastructure, dispositifs de contrôle des trains

#### 1.14.1.1 Brève description du fonctionnement du système de surveillance ZKE

Sur le réseau ferroviaire suisse à voie normale différents types de dispositifs de contrôle des trains ZKE sont montés à demeure au niveau de l'infrastructure, à divers endroits du réseau. Il s'agit du système de détection de boîtes d'essieux chaudes et freins serrés (HFO) ainsi que du système de contrôle de la charge par roue (RLC). Ne sont décrits ci-dessous que les deux systèmes de surveillance qui ont un lien avec le présent accident soit les systèmes HFO et RLC.

Ces systèmes ont été mis en place afin de protéger l'infrastructure de dégâts éventuels qui pourraient être générés par des véhicules défectueux ainsi que pour détecter précocement l'état critique d'un véhicule.

Le centre de gestion situé à Erstfeld est en charge du traitement des annonces reçues ainsi que de la gestion des alarmes.

Les données informatiques récoltées sont mémorisées et peuvent être, en cas de besoin, analysées a posteriori de manière approfondie.

En moyenne annuelle, le système HFO contrôle 182 millions d'essieux (117 millions d'essieux du trafic voyageurs et 65 millions d'essieux du trafic marchandises). Le RLC contrôle 40 millions d'essieux dont 23 millions d'essieux marchandises.

#### 1.14.1.2 Détecteurs de boîtes d'essieux chaudes et freins serrés

Ces installations (HFO) permettent de détecter, au passage du train, la surchauffe d'une boîte d'essieu ainsi que de détecter si un frein est resté serré. Certaines installations, en fonction de leur génération, sont dotées d'un capteur de température à infrarouge divisé en quatre ou huit secteurs de mesure.

#### 1.14.1.3 Points de contrôle de la charge par roue RLC

Ce système a été conçu à l'origine comme une «balance de charge d'essieu». Il mesure la charge de la roue, pour contrôler la répartition de la charge par roue sur les wagons afin de détecter un éventuel déplacement du chargement.

Les valeurs limites autorisées sont calquées respectivement sur la définition des dispositions de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF) et sur la directive de chargement des wagons édicté par l'UIC.

Les performances des systèmes de mesure installés n'étant pas encore épuisées, le système a été étendu à des mesures de la force de contact de la roue (Radaufstandkraft) ainsi qu'à une mesure du coefficient dynamique de la charge par roue des trains (dynamischer Beiwert) en circulation.

Lorsque la force de contact maximale de la roue atteint 30 tonnes, une annonce de vigilance est générée et à 40 tonnes une alarme est déclenchée.

La force de contact de la roue est un indicateur de l'état de la roue d'un véhicule. Il permet de détecter un faux-rond ou des dommages sur la bande de roulement de la roue comme des plats d'essieux importants qui peuvent engendrer des dégâts à l'infrastructure.

En ce qui concerne le coefficient dynamique de la charge par roue des trains (dynamischer Beiwert), des essais de validation sont actuellement en cours sur une série de locomotives de la flotte de CFF-Cargo et de véhicules moteurs CFF-Voyageurs pour déterminer, si les valeurs relevées par le système de mesure correspondent effectivement à des irrégularités constatées sur les roues des véhicules faisant l'objet du suivi. Aucune prescription ou norme ne fixe une valeur limite pour le coefficient dynamique de la charge par roue des trains. Les valeurs limites, vigilance (ratio 1:1.6) et alarme (ratio 1:1.7), ont été définies sur la base d'expériences par les ingénieurs du centre ZKE et figurent dans le manuel ZKE. Ces valeurs ont été communiquées à l'OFT.

## 1.14.2 Traitement des informations vigilance et alarme

Il existe deux différents seuils de détection.

Le premier seuil de détection génère une annonce de vigilance RLC (annonce d'avertissement). Cette annonce automatique est directement envoyée par e-mail à l'entreprise de transport. Elle contient le numéro de train, l'endroit et l'heure de la détection, les valeurs relevées sur l'essieu détecté ainsi qu'une recommandation sur les mesures à prendre. Le personnel du centre de gestion d'Erstfeld n'effectue pas de vérification des annonces d'avertissement automatiques. Un compte rendu mensuel des événements est envoyé aux entreprises de transport.

Le deuxième seuil génère une alarme lorsque les valeurs admissibles sont dépassées. Cette alarme est automatiquement transmise au chef-circulation (CC) en charge du secteur où le train circule. Le CC contacte le mécanicien par radio pour procéder, en fonction du type d'alarme, à l'immobilisation du train à l'endroit le plus approprié. Parallèlement l'annonce est transmise au centre de gestion d'Erstfeld. Le train immobilisé doit faire l'objet d'un contrôle avant la reprise de la marche. Si cela n'est pas possible, le véhicule détecté doit être différé.

## 1.14.3 Installations de contrôles franchies par le train n° 60700 le jour de l'accident

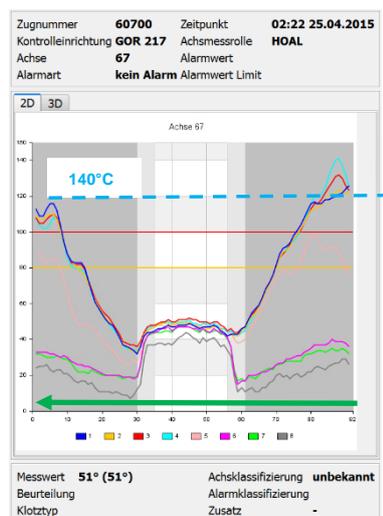
### 1.14.3.1 Détecteurs de boîtes d'essieux chaudes et freins serrés HFO

Entre Bâle et Daillens, le train n° 60700 a franchi les installations de contrôle de boîtes d'essieux chaudes et freins serrés suivantes:

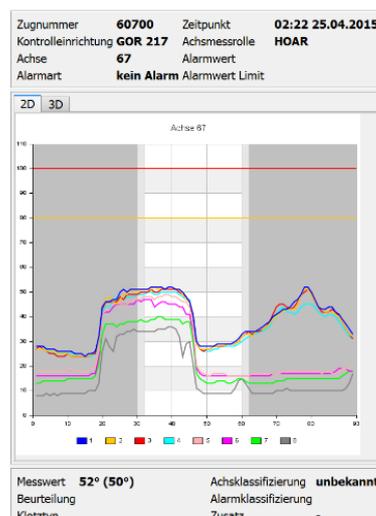
Sissach à 0h32 – Selzach à 1h33 – Bienne-Mett à 1h42 – Twann à 1h56 et Gorgier à 2h22 (illustrations 13-15).

Les éléments suivants ont été relevés:

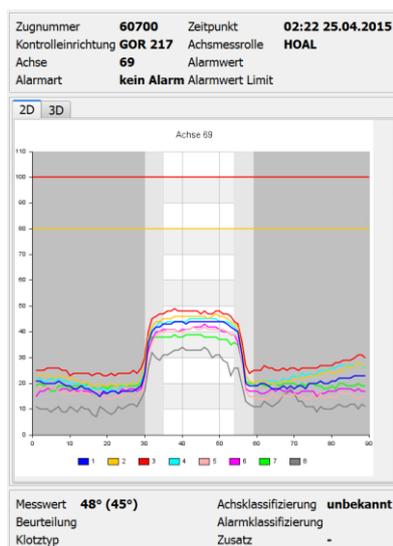
- aucun frein serré n'a été détecté sur un quelconque wagon du train durant le trajet.
- les températures de toutes les boîtes d'essieu du train se situaient dans la plage normale, bien en dessous du seuil de vigilance (barre jaune sur les graphiques). Sur les graphiques ci-dessous seule la température de la zone quadrillée blanche est prise en compte par le système HFO pour le déclenchement d'une alarme "boîte chaude". De ce fait, la température de 140°C se situe à l'extérieur de la zone de contrôle. Les graphiques ci-dessous correspondent à l'essieu n° 1 du wagon n° 20, soit au 67<sup>ème</sup> essieu du train.



**Illustration 13:** température essieu 1 gauche relevée à Gorgier à 2h22 (flèche verte sens de marche du train).



**Illustration 14:** température essieu 1 droit relevée à Gorgier à 2h22.



**Illustration 15:** température essieu 3 relevée à Gorgier à 2h22

Remarque:

un dessin explicatif permettant de mettre en relation les graphiques du système ZKE ci-dessus avec les dimensions de la boîte d'essieu et les éléments de la suspension primaire est disponible à l'annexe 1.

#### 1.14.3.2 Points de contrôle de la charge par roue RLC

Entre Bâle RB et Daillens, le train n'a franchi qu'une seule installation de contrôle de la charge par roue, soit l'installation située à Ligerz.

Lors du franchissement de cette installation à 1h56, l'essieu avant du wagon n° 20 (67ème essieu du train dans le sens de marche, soit le premier essieu du wagon n° 20) a été détecté en vigilance avec une différence de charge roue gauche-droite d'une valeur de 1.65 (seuil d'alarme 1.7). Un e-mail d'information a été automatiquement envoyé à l'entreprise CFF-Cargo avec comme recommandation, le contrôle du véhicule ainsi que son chargement à la gare de destination.

#### 1.14.4 Analyse a posteriori des données enregistrées par les systèmes HFO et RLC

Entre janvier 2012 et le jour de l'accident, le wagon n° 33 80 7874 432-7 (wagon 20) n'a jamais déclenché d'alarme de boîte chaude ou de frein serré (HFO).

Les données RLC enregistrées par le système entre octobre 2014 et le jour de l'accident ont été analysées. Durant cette période, le wagon n° 33 80 7874 432-7 a été détecté une seule fois, le 15 janvier 2015 à Ligerz, en vigilance "force de contact de roue". Lors de cette détection en vigilance, un e-mail d'information avait été automatiquement envoyé à l'entreprise CFF-Cargo avec comme recommandation, le contrôle des roues.

### 1.15 Tachygraphe

La locomotive menante Re 420 11256 est équipée d'un indicateur de vitesse du type "Hasler" RT 12 avec bande tachygraphique dans la cabine 1 et du type R 12 avec disque tachygraphique dans la cabine 2.

Le disque tachygraphique ainsi que la bande ont été retirés sur place et remis au SESE.

L'analyse du disque tachygraphique démontre que, peu avant l'endroit du déraillement, le train circulait à la vitesse de 100 km/h.

La réduction de vitesse consécutive à la rupture de la conduite générale du frein, et le déclenchement du freinage à fond, ont été amorcés environ 650 mètres avant l'endroit où la locomotive de tête s'est immobilisée.

#### **1.16 Contrôle technique du wagon n° 20 et préparation du train n° 60700**

Le wagon n° 3380 7874 432-7 (20ème wagon du train n° 60700) a été contrôlé par un contrôleur technique CFF-Cargo sur le site de Schweizerhalle le 24 avril 2015. Aucune déféctuosité n'a alors été constatée.

Lors de la préparation du train et de l'essai de freins réalisé avant le départ du train n° 60700 dans le faisceau de voie D à Bâle RB, aucune irrégularité n'a été constatée par le contrôleur technique de CFF-Cargo.

## 1.17 Analyses particulières

### 1.17.1 Processus pour le montage des roulements d'essieux de type "BA 80"

La description simplifiée du montage du roulement figurant ci-dessous est extraite du chapitre 3 de l'annexe 16 de la directive VPI 09 "Montage des roulements d'essieux" (édition juillet 2012):

*"Lorsque le roulement a été mis en place, un écrou cannelé muni d'un filet intérieur de M 90X4 doit être vissé sur l'axe (illustrations 16 et 17), puis il doit être serré une première fois par l'intermédiaire de deux coups de marteau sur une clef à ergot d'une longueur de 350 mm (aucun couple de serrage n'est prescrit). Ensuite, il faut positionner le disque de sécurité (les perforations du disque de sécurité ne sont pas symétriques) de façon à ce que les perforations du disque ne coïncident pas avec les deux filetages M10 de l'écrou. Un demi trou de différence doit toujours être visible. Ensuite, il faut serrer l'écrou cannelé jusqu'à ce que les perforations du disque soient en alignement avec les filetages de l'écrou. Puis, les vis de sécurité M10X25 d'une classe de résistance de 10.9 doivent être mises en place et serrées avec un couple de 85 Nm au moyen d'une clef dynamométrique. Lors de chaque montage, des vis neuves<sup>4</sup> doivent être mises en place."*

Explications complémentaires du SESE:

Le disque de sécurité dispose de deux ergots décalés de 180° servant de butée. Ils s'engagent au milieu du fraisage prévu à cet effet en bout d'axe. Une fois le disque de sécurité positionné et assuré au moyen des deux vis, l'écrou cannelé fait corps avec l'axe et est ainsi assuré contre tout desserrage intempestif.



**Illustration 16:**boîte d'essieu sans couvercle;  
1) écrou cannelé avec filet intérieur M90X4.  
2) disque de sécurité.  
3) vis de sécurité M10X25.



**Illustration 17:** filetage de l'axe.

<sup>4</sup> Vis neuves. Avant juillet 2012, les vis de fixation ne devaient pas systématiquement être échangées.

## 1.17.2 Mesure géométrique des essieux des wagons n° 18 à 21 sur le site de Monthey

### 1.17.2.1 Profil et écartement des roues des essieux

Tous les profils de roues ont été mesurés au moyen d'un appareil laser. Les cotes spécifiques de tous les essieux se situaient dans limites de tolérances prescrites.

L'écartement des roues de tous les essieux était conforme aux directives DE-OCF article 48.1 chiffre 2.6.

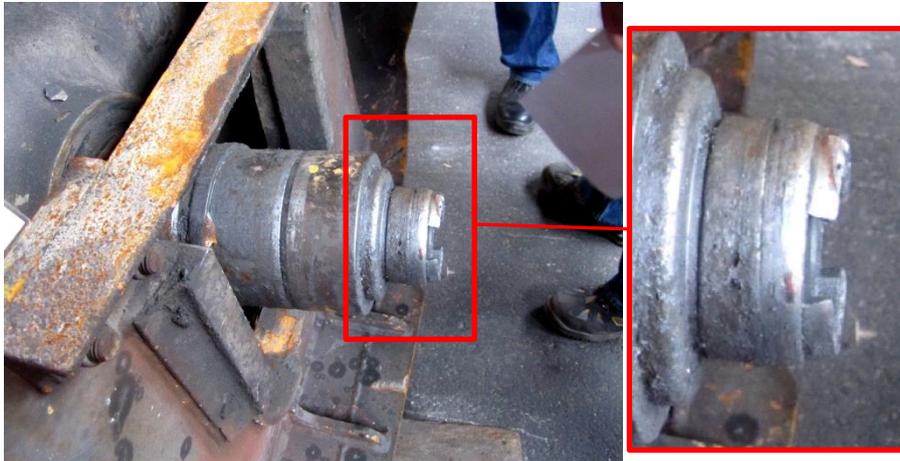
## 1.17.3 Inspection détaillée des essieux du wagon n° 20

### 1.17.3.1 Boîtes d'essieux – écrou cannelé, disque de sécurité et lames de ressort

#### 1.17.3.1.1 Essieu 1 (ID<sup>5</sup>:105238)

Axe et filetage M90

La boîte d'essieu gauche a été arrachée. Sur la fusée d'essieu, le filetage M90 a été arraché sur toute la longueur.



Illustrations 18: essieu 1, fusée d'essieu gauche, filetage arraché.



Illustration 19: boîte d'essieu gauche ouverte avec l'écrou cannelé et la graisse.

---

<sup>5</sup>ID: n° d'identification de l'essieu

#### 1.17.3.1.2 Essieu 2, boîte gauche (ID 908543)

Le disque de sécurité de la boîte d'essieu est rouillé.



**Illustration 20:** essieu 2, boîte gauche, disque de sécurité rouillé.

#### 1.17.3.1.3 Essieu 4, boîte gauche (ID 891800)

Le disque de sécurité est voilé. Il n'appuie pas sur tout le pourtour du bout de l'essieu.



**Illustration 21:** essieu 4, boîte gauche, le disque de sécurité n'appuie pas contre l'écrou.

#### 1.17.3.2 Boîtes d'essieux - couple de serrage des vis de sécurité

Les couples de serrage des vis assurant le disque de sécurité des essieux 2 à 4 ont été contrôlés à l'aide d'une clef dynamométrique.

Les couples de serrage des vis de sécurité dans la boîte d'essieu 2 gauche étaient, de 125 Nm pour la première vis et de 85 Nm pour la deuxième. Pour les essieux 3 et 4, les couples de serrages de ces vis variaient de 90 à 95 Nm.

### 1.17.3.3 Paquet de lames de ressort

Les paquets de lames de ressort sont du type trapézoïdal à huit lames.

Les paquets de lames de ressort ne disposent pas de numéro d'identification propre. Ces pièces sont interchangeables. Elles sont repérées uniquement par le symbole U encerclé. Il n'est pas possible de retracer l'historique des paquets de lames de ressort.

Lors de la révision effectuée en 2011, les valeurs mesurées lors du contrôle ont été gravées sur la partie centrale avec le n° d'identification de l'atelier qui a procédé au contrôle, ceci conformément à la directive VPI 05.

## 1.17.4 Contrôles additionnels en atelier des essieux du wagon n° 20

### 1.17.4.1 Essieu 1

#### 1.17.4.1.1 Arbre d'essieu - démontage et contrôle des deux roues de l'essieu 1

L'arbre de l'essieu est déformé. Dans cet état, un contrôle du faux-rond de l'essieu monté n'est pas possible. C'est pourquoi, après démontage des roues sur une presse à essieux, les deux roues ont été mises individuellement sur un tour pour permettre le contrôle du faux-rond. Le boudin de la roue droite est fortement abîmé, celui de la roue gauche l'est légèrement. Etant donné leur état, le faux-rond des deux roues est hors tolérance.

Les diamètres des deux roues sont identiques.

Sur les bandes de roulement des deux roues, des excoriations<sup>6</sup> importantes en forme de "S" sont présentes sur toute la circonférence de la bande de roulement.



**Illustrations 22 et 23:** excoriations en formes de "S" sur les deux bandes de roulement de roues de l'essieu 1.

<sup>6</sup> Excoriations: petites parties de métal, en forme d'écaillés, qui se sont détachées de la bande de roulement.

#### 1.17.4.2 Essieux 2 à 4

##### 1.17.4.2.1 Contrôle du faux-rond et état des roues

L'essieu 2 (qui a aussi déraillé) présente de fortes marques sur les boudins. Le faux-rond des roues de cet essieu est hors tolérance. Le faux-rond des essieux 3 et 4 est en ordre. Les diamètres des roues gauche et droite de ces trois essieux sont identiques.

La roue droite de l'essieu 3 présente sur toute la circonférence de la bande de roulement des excoirations linéaires (illustration 24).



**Illustration 24:** excoirations linéaires sur la bande de roulement de la roue droite de l'essieu 3.

#### 1.17.5 Expertise métallurgique des composants de la boîte d'essieu 1

##### 1.17.5.1 Boîte d'essieu

La face intérieure du couvercle de la boîte d'essieu gauche présente une surface brillante polie. Sur le pourtour ainsi que sur la face intérieure du couvercle, des traces de frottement de l'écrou cannelé M90 sont visibles.

La face intérieure du couvercle de la boîte d'essieu droite ne présente aucune trace de frottement. L'état de la surface est rugueuse telle quelle apparaît après le coulage.

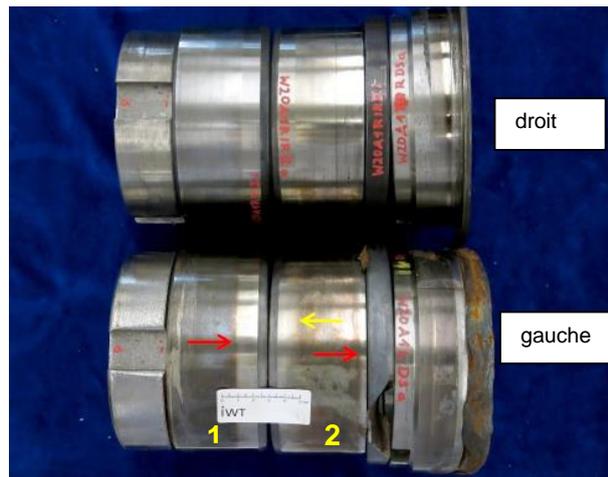


**Illustration 25:** couvercles des boîtes d'essieu gauche et droite.

## 1.17.5.2 Roulements de l'essieu 1

La bague extérieure du roulement gauche (pos. 1, illustration 26) présente une coloration foncée de la surface de roulement, signe d'une usure anormale ainsi que d'un échauffement. Les flèches rouges signalent une limite marquée du déplacement des galets du côté intérieur, tant sur la bague intérieure (pos. 1, illustration 26) que sur la bague labyrinthe (pos. 2, illustration 26), alors que du côté intérieur de la bague labyrinthe (flèche jaune) la limite est moins nette.

La bague d'appui (position 6, dessin de la boîte d'essieu en annexe 3, ne figurant pas sur l'illustration ci-dessous) présente des traces de frottement ainsi qu'une coloration de la surface due à un échauffement. Des traces d'apport de métal sont également visibles sur sa surface.



**Illustration 26:** bagues intérieures des roulements des boîtes d'essieux gauche et droite de l'essieu 1.

## 1.17.5.3 Graisse

L'analyse de la graisse contenue dans la boîte d'essieu 1 gauche relève la présence d'une graisse de couleur "grise-métallisé". Par rapport à la boîte d'essieu droite, la boîte gauche présente une concentration élevée de particules abrasives. Des fragments du disque de sécurité ont été retrouvés dans la graisse.

## 1.17.5.4 Filetage de la fusée d'essieu

Le filetage M90 gauche est complètement arraché.

Le filetage M90 droit a été contrôlé à l'aide d'une "jauge passe-passe pas". L'une comme l'autre bloque déjà sur le premier pas du filet.

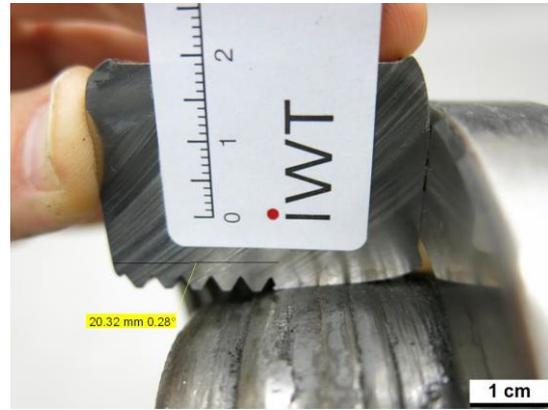
## 1.17.5.5 Ecrous cannelés

## 1.17.5.5.1 Ecrou gauche

L'écrou cannelé présente des traces de frottement sur sa face extérieure (illustration 27). Le filet M90 est arraché sur la moitié de la portée (illustration 28).



**Illustration 27:** écrou cannelé, traces de frottements sur la face extérieure.

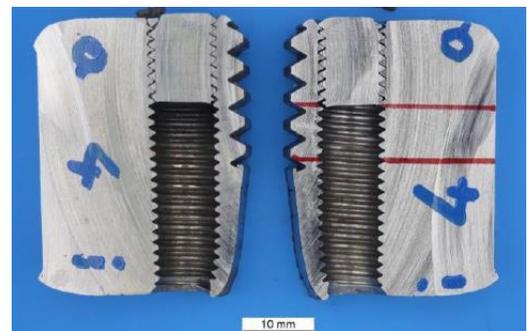
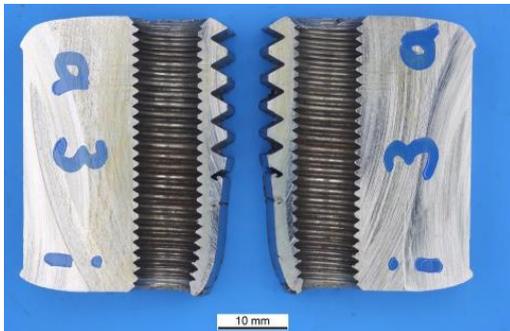


**Illustration 28:** filets M90 arraché (écrou et axe).

L'écrou cannelé a été scié dans le sens axial afin de permettre l'analyse le filetage en détail.

Les deux filetages M10 présentent des déformations visibles sur le flanc du filet. Le premier filet (illustration 29) est clairement déformé.

Un fragment du filet de la vis de sécurité M10, d'une longueur de 12.4 mm restait dans l'un des deux filetages (illustration 30). L'autre filetage était libre.



**Illustrations 29 et 30:** écrou cannelé gauche avec et sans fragment d'une vis de sécurité

## 1.17.5.5.2 Ecrou cannelé droit

Les deux filetages M10 de l'écrou droit présentent, sur le flanc des pas du filet, des marques normales consécutives à la présence de vis.

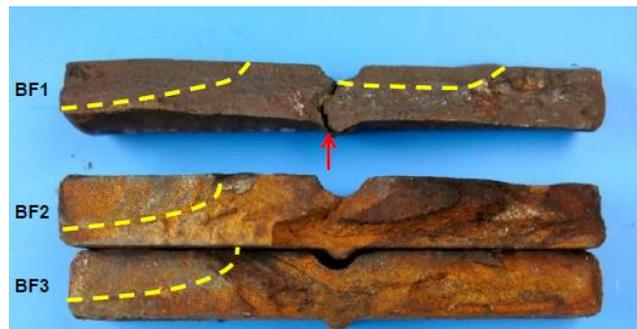
#### 1.17.5.6 Lames de ressort

##### 1.17.5.6.1 Analyse fractographique du paquet de lames de ressort gauche

La surface de rupture des trois fragments de lames de ressort est fortement corrodée. La lame supérieure (BF1) est fissurée en son milieu.

Environ 20 % de la surface intérieure de chaque lame de ressort est brillante (surface située au-dessus du marquage jaune sur l'illustration ci-dessous). Les lignes de fracture des fissures démontrent une fracture de fatigue.

Le point de départ des fissures est situé entre 10 et 20 mm à l'arrière de la partie supérieure de chaque lame de ressort (illustration 31 et illustration 36 à l'annexe 2). La lame supérieure (BF1) présente également une deuxième fissure.



**Illustration 31:** vue des lames de ressort à l'endroit de la rupture.

##### 1.17.5.6.2 Magnétoscopie du paquet de lames de ressort gauche

Du fait de la symétrie d'un essieu, si une fracture due à la fatigue apparaît sur un côté de la lame de ressort, le côté opposé devrait présenter les mêmes symptômes. Le côté encore intact du paquet de lames de ressort a été soumis à un contrôle magnétoscopique afin de rechercher la présence de fissures.

Sur la face intérieure de la lame de ressort supérieure, trois amorces de fissures ont été constatées (illustration 36 à l'annexe 2).

##### 1.17.5.6.3 Analyse métallographique des fragments de lames de ressort

L'analyse métallographique de la surface des fragments de lames de ressort a démontré que les fissures ont été provoquées par des rainures de la surface des lames, dans lesquelles des piqûres de corrosion se sont développées.

##### 1.17.5.6.4 Vérification du diagramme de force du paquet de lames de ressort droit

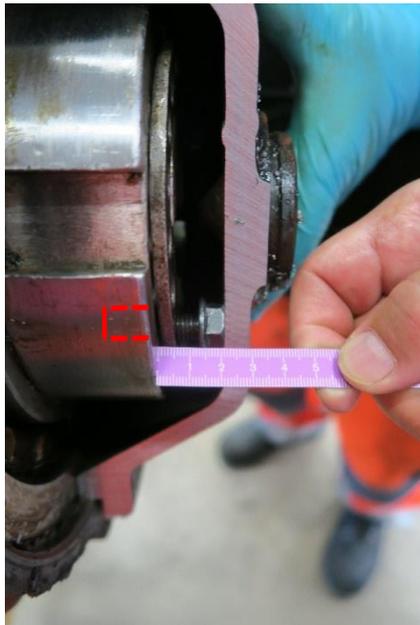
A cause de la rupture de lames de ressort, la vérification du diagramme de force du paquet de lames de ressort gauche n'était plus possible. Par contre, le paquet de lame de ressort droit a été soumis à un test sous charge comme le prescrit la directive VPI 05.

Le diagramme de force du paquet de lames de ressort droit se situe dans les limites de tolérances mentionnées dans la norme VPI 05. Cette valeur correspond aux mesures effectuées lors de la révision en 2011.

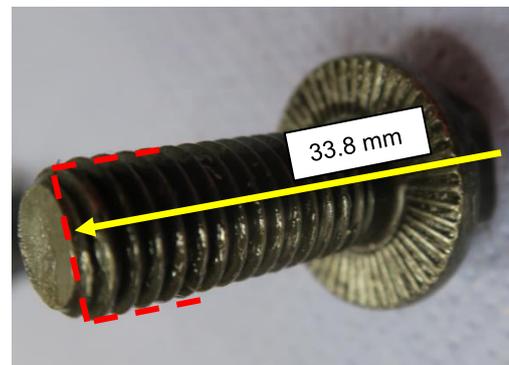
### 1.17.6 Vérification de l'espace libre entre l'écrou et le couvercle de la boîte d'essieu

Afin de déterminer si l'espace entre l'écrou M90 et le couvercle de la boîte était suffisant pour qu'une vis de sécurité puisse se dévisser et s'extraire sans qu'un restant de filet ne soit encore présent dans l'écrou, un couvercle de boîte d'essieu a été coupé et la distance entre la tête de la vis et le couvercle a été mesurée (illustration 32).

La distance de 20 mm est inférieure à la longueur totale de la vis, tête comprise, qui est de 33.8 mm. En prenant en compte les tolérances de montage, lorsque la tête de la vis touche le couvercle, il reste au minimum 12 mm de filet dans l'écrou M90.



**Illustration 32:** espace entre l'écrou et le couvercle; marquage rouge: filet restant dans l'écrou.



**Illustration 33:** vis: longueur du filet 25 mm longueur totale 33.8 mm tête rainurée en éventail (anti-desserrage).

#### 1.17.6.1 Inspection de l'atelier de maintenance

Le 28 octobre 2015, le SESE, accompagné d'un collaborateur du service d'enquête allemand, a procédé à une inspection de l'atelier de maintenance où la révision des essieux du wagon n° 20 avait été effectuée.

Description succincte des étapes du processus de traitement des boîtes d'essieux du nettoyage au remontage et constatations effectuées

##### 1.17.6.1.1 Démontage des roulements, nettoyage et graissage des roulements

- Une fois la boîte d'essieu démontée, les roulements sont retirés des dites boîtes. Ensuite, les boîtes d'essieux ainsi que les roulements sont nettoyés dans une machine à laver puis les pièces sont contrôlées selon les directives VPI.
- Les roulements graissés sont remontés dans les boîtes d'essieux.

#### 1.17.6.1.2 Transport des boîtes

- Les boîtes d'essieux sont déposées sur une bande de transport à rouleaux pour être acheminées sur la place de montage. Le lieu de montage n'est pas séparé physiquement du lieu où les pièces sont nettoyées. Le jour de la visite, 14 boîtes d'essieux étaient entreposées sur la bande de transport.
- La bande de transport décrit une courbe à droite pour passer derrière une colonne en béton. Les boîtes d'essieux fraîchement graissées frottent contre le mur en béton (annexe 4, illustrations 37-38). Du crépi s'est détaché du mur (annexe 4, illustration 39) et des particules sont tombées dans une des boîtes de roulement qui se trouvait sur la bande de transport.

#### 1.17.6.1.3 Remontage

- Les roulements ont été remontés dans des boîtes d'essieux alors que ces dernières n'étaient pas sèches.
- Un roulement a été remonté dans une boîte d'essieu sans que celle-ci n'ait été complètement démontée avant de passer au lavage. La bague arrière n'a pas été retirée lors du nettoyage (annexe 4, illustration 41). Dans quatre boîtes d'essieu, de l'ancienne graisse était restée au fond de la boîte et a coulé sous le roulement (annexe 4, illustrations 43 et 44).
- Bien que les boîtes d'essieux aient été nettoyées en machine, des restes de peinture ainsi que des particules métalliques étaient présentes à droite et à gauche du roulement fraîchement graissé (annexe 4, illustration 42).
- Lors du montage des boîtes d'essieux pour le contrôle final du serrage, les collaborateurs ont trois clés dynamométriques à disposition mais n'en utilisent qu'une seule. A chaque changement de diamètre de vis, les collaborateurs règlent le couple de serrage désiré.

### 1.17.7 Certification ECM et contrôle technique par VPI de l'entreprise Kaminski

#### 1.17.7.1 Accréditation – organisme de certification ECM et système d'entretien des wagons

##### 1.17.7.1.1 Accréditation – organisme de certification ECM

Les entités en charge de la maintenance sont soumises à la directive européenne EU 445/2011. Cette directive a pour objectif d'harmoniser les exigences à respecter par lesdites entités dans toute l'Union européenne et dans tous les pays membres de l'OTIF.

Cette directive impose à toute entité chargée de l'entretien des wagons de fret circulant sur le réseau ferroviaire de l'UE et de l'OTIF d'obtenir une certification.

Conformément à l'article 10 de la directive EU 445/2011, la certification des entités chargées de l'entretien est accordée par un organisme de certification accrédité tel que les autorités de surveillance nationales ou par un organisme d'Etat comme le service d'accréditation suisse (SAS). Les ateliers en charge de la maintenance se font certifier sur une base volontaire. Une fois certifiés, ils peuvent se prévaloir du certificat pour l'exécution de l'entretien avec l'entête EU 445 /2011.

#### 1.17.7.1.2 Système d'entretien des wagons, fonctions et certificat ECM

Le système d'entretien des wagons de fret, tel qu'il est défini par le règlement EU 445/2011 pour la maintenance des wagons, recouvre les quatre fonctions suivantes:

a: la fonction d'encadrement qui consiste à superviser et coordonner les fonctions d'entretien visées aux points b-c-d et à garantir que le wagon de fret soit dans un état assurant la sécurité dans le système ferroviaire;

b: la fonction de développement de l'entretien qui consiste à prendre en charge la gestion de la documentation d'entretien, y compris la gestion de la configuration, à partir des données de conception et de fonctionnement ainsi que des performances et des retours d'expérience;

c: la fonction de gestion de l'entretien de la flotte qui consiste à gérer le retrait des wagons de fret pour entretien et leur remise en exploitation après entretien;

d: la fonction d'exécution de l'entretien qui consiste à assurer l'entretien technique requis d'un wagon de fret ou de pièces de celui-ci, y compris à établir les documents de remise en service.

L'entreprise VTG propriétaire du wagon n° 20 est certifiée ECM. Elle assure les fonctions a à c du système d'entretien des wagons. La fonction d a été externalisée par VTG auprès de l'entreprise Kaminski.

L'entreprise Kaminski a obtenu la certification délivrée par la société Sconrail pour la fonction de l'exécution de l'entretien des wagons (fonction d), conformément au règlement EU 445/2011, pour la première fois le 30 août 2012. La certification octroyée couvre aussi la maintenance des wagons-citernes pour marchandises dangereuses ainsi que d'autres wagons spécialisés. L'organisme de certification a procédé, depuis la certification, à une vérification annuelle, conformément à l'article 7 alinéa 6 de la directive EU 445/2011. Lors de ces contrôles intermédiaires, seules des irrégularités mineures ont été relevées. Les mesures correctives ont été mises en œuvre par l'entreprise.

Sconrail a conclu avec VPI un partenariat pour l'audit combiné des ateliers en charge de la maintenance. C'est pourquoi, lors du contrôle annuel de 2013, la partie "contrôle en atelier" n'a pas fait l'objet d'un second audit par Sconrail car cette partie avait été auditée par VPI en 2012 et cet audit était toujours valable (voir chapitre 1.17.8 ci-dessous). La société Sconrail a été accréditée par le service d'accréditation suisse (SAS).

#### 1.17.8 Contrôle technique par VPI

L'association VPI émet des directives pour l'entretien des wagons de fret et procède aussi à un "assessment technique" des ateliers en charge de la maintenance.

L'entreprise Kaminski a été soumise pour la première fois en 2012, à un contrôle technique de qualité "Fachtechnische Begutachtung" par des experts technique du groupe VPI. La certification était valable trois ans. Elle a été renouvelée en date du 1<sup>er</sup> juin 2015 à la suite au contrôle technique effectué entre le 20 et le 22 avril 2015 par VPI. Cette certification est valable jusqu'au 31 mai 2018.

Le protocole établi suite au contrôle technique réalisé en avril 2015 a été remis au SESE. Ce document définit entre autres les mesures correctives nécessaires ainsi que des recommandations à mettre en œuvre.

Au chapitre "Atelier des essieux" seules les constatations et divergences principales vis-à-vis des directives ci-dessous, ont été mentionnées:

- le délai de contrôle d'un gabarit de contrôle pour filet M90x4 était échu;
- sur certains outils de mesure, l'indication de la prochaine échéance de contrôle faisait défaut;
- la température de l'installation de retrait des bagues de roulement intérieures et des bagues labyrinthe était réglée trop haute.

Aucune remarque n'a été émise quant à la chaîne de traitement des boîtes d'essieux.

## 2 Analyse

### 2.1 Aspects techniques du matériel roulant

#### 2.1.1 Wagon n° 17

Le wagon n° 17 est le dernier wagon de la partie du train n° 60700 qui est solidaire des locomotives. L'essieu avant du wagon a déraillé. Le fait qu'il ne manquait aucune pièce sur les organes de roulement du wagon, les fortes traces d'usure visibles sur une partie de la circonférence de la roue avant gauche de l'essieu déraillé, et les traces relevées sur les traverses en béton sur les 600 derniers mètres de freinage du train permettent de déduire:

- que lors du déraillement de la queue du train et en particulier lors de la rupture d'attelage entre les wagons n° 17 et 18, la dynamique du convoi a provoqué le déraillement de l'essieu avant du wagon n° 17;
- que le frein agissant sur l'essieu déraillé a provoqué le blocage de l'essieu;
- que la roue gauche de l'essieu déraillé a ainsi "sautillé" de traverse en traverse jusqu'à l'arrêt du train.

Le déraillement du wagon n° 17 est un effet secondaire du déraillement des wagons n° 18 à 22 du train n° 60700.

#### 2.1.2 Wagon n° 20

##### 2.1.2.1 Traces d'échauffement sur les bagues et les galets des roulements

Lorsque l'écrou cannelé est serré et appuie contre la bague intérieure du roulement (annexe 3, dessin position 6), les trois bagues forment un ensemble rigide. De ce fait, aucun frottement ne peut se produire entre ces surfaces. L'usure exceptionnelle de la bague d'appui, les traces d'apport de métal ainsi que les traces d'échauffement visibles sur sa face intérieure ne peuvent être que la conséquence d'une rotation découlant d'une désolidarisation de l'ensemble. Les traces foncées laissées par les galets sur la bague intérieure du roulement sont très vraisemblablement consécutives à des déplacements axiaux répétés des galets sur les bagues qui ont généré des températures élevées au point de contact entre les galets et la bague intérieure. Ce type de roulement à rouleaux n'est pas conçu pour absorber des déplacements axiaux.

Cet échauffement est resté localisé entre les galets et les bagues car la cage synthétique du roulement n'a pas été dégradée par la température. C'est vraisemblablement pour cette raison que la température extérieure de la boîte d'essieu n'a jamais atteint une valeur lui permettant d'être détectée en "boîte chaude" par le système ZKE.

##### 2.1.2.2 Analyse de la graisse des roulements

La couleur "grise métallisé" de la graisse, qui était à l'origine de couleur brune, est consécutive à la présence en proportion élevée de particules abrasives métalliques, résultant de la dégradation des pièces métalliques, qui ont, au fil du temps, migré dans la graisse.

La présence élevée de particules de suie retrouvées dans la graisse de la boîte d'essieu gauche démontre que cette graisse a été soumise localement à de très hautes températures qui ont "carbonisé" la graisse.

### 2.1.2.3 Vis de sécurité de la boîte d'essieu 1 gauche

L'analyse métallurgique des filets des vis de sécurité de l'écrou cannelé ne permet pas de déterminer, si lors du montage, les deux vis étaient bien présentes car cet écrou a été utilisé à plus d'une reprise.

Les essais réalisés en atelier sur une boîte d'essieu ont permis de démontrer qu'une vis de sécurité ne peut s'extraire sans toucher le couvercle. La distance restante entre le disque de sécurité et le couvercle de la boîte d'essieu (illustration 32), est inférieure à la longueur du filet de la vis M10. C'est pourquoi, si une vis, pour une raison quelconque, venait à se desserrer, un segment de filet devrait encore rester prisonnier du filetage M10 de l'écrou cannelé. Un des deux filetages de l'écrou cannelé était libre de tout de filet, ce qui indique qu'une des deux vis manquait.

### 2.1.2.4 Arrachage du filetage de la fusée de l'axe d'essieu et de l'écrou cannelé de l'essieu 1

Au fil du temps, l'écrou cannelé qui n'était plus assuré, s'est desserré sous l'effet des forces induites par la rotation de l'essieu.

L'arrachage partiel du filetage intérieur M90 de l'écrou cannelé ainsi que l'arrachage complet de celui de la fusée d'essieu ont été provoqués par les mouvements de va-et-vient répétés, générés par les déplacements transversaux de la boîte d'essieu.

### 2.1.2.5 Fissures et rupture des lames de ressort de l'essieu 1

La rupture des lames de ressort est due à une rupture dite de fatigue. Les fissures dans les lames de ressort se sont développées sur une très longue durée.

Le contrôle magnétoscopique du côté encore intact du paquet de lames de ressort a permis de mettre en évidence la présence de rainures à la surface de la lame. Au fil du temps des grains de corrosion se sont développés dans ces rainures. Comme cette génération de paquets de lames de ressort n'a pas de traçabilité, il est impossible de déterminer l'année de mise en service de ce paquet de lames.

Compte tenu de leurs positions sur le côté intérieur du paquet de lames de ressort, la détection visuelle des fissures était impossible sans démontage du paquet de lames de ressort.

## 2.1.3 Qualité de montage des boîtes d'essieux

Lors de l'inspection des essieux 2 à 4 du wagon n° 20, les diverses irrégularités constatées dans le montage des boîtes d'essieux, telles que, le disque de sécurité n'appuyant pas contre l'écrou M90X4, ainsi que les différents couples de serrage des vis de sécurité, dénotent un manque de qualité et de rigueur lors du montage des boîtes d'essieu effectué lors de la révision, en août 2011.

Les constatations faites lors de l'inspection réalisée par le SESE en octobre 2015 auprès de l'entreprise qui a procédé à la révision des boîtes d'essieu permettent de corroborer les éléments mis en évidence lors de l'inspection des essieux 2 à 4 du wagon n° 20, à savoir, qu'il y a eu un manque de maîtrise dans l'exécution du travail ainsi qu'un contrôle de qualité insuffisant lors des travaux de révision des boîtes d'essieu.

#### 2.1.4 Influence de l'absence de détecteurs de déraillement du wagon n° 20

Le wagon n° 20 n'était pas équipé de détecteurs de déraillement car leur installation n'est pas obligatoire et fait débat en Europe. Ces détecteurs déclenchent un freinage d'urgence par vidange de la conduite générale lorsque des vibrations verticales importantes sont générées par le roulement d'un essieu sur les traverses de la voie. Entre l'endroit où la boîte d'essieu est tombée et l'appareil de voie n° 17, l'essieu était toujours guidé et n'a pas quitté le rail. L'essieu devait certes générer des vibrations mais il est peu probable que ces dernières, qui étaient plutôt transversales, auraient permis d'activer les détecteurs de déraillement et déclencher le freinage d'urgence avant que l'essieu ne déraille sur l'appareil de voie n° 17. Peu après le déraillement de l'essieu, les wagons ont commencé à basculer sur le côté à cause de la configuration géométrique du tracé en courbe de la voie. Si le wagon n° 20 avait été équipé de détecteurs de déraillement, ceux-ci n'auraient pas permis de réduire les dégâts.

## 2.2 Aspects techniques de l'infrastructure

### 2.2.1 Annonce vigilance ZKE, contrôle, monitoring et interprétation

#### 2.2.1.1 Annonce vigilance et bases techniques du coefficient dynamique de la charge par roue

La mesure du coefficient dynamique de la charge par roue des trains en circulation a fait l'objet d'un développement par CFF-Infrastructure. Actuellement, il n'existe aucune base technique standardisée au niveau européen, ni un catalogue des défauts qui pourraient être associés à une annonce de vigilance du coefficient dynamique de la charge par roue. A contrario, le rapport de charge par roue est normé et reflète en général un déplacement inadéquat de la charge du wagon.

Généralement, un plat d'essieu important ou un faux-rond de la roue peuvent être à l'origine d'une annonce de vigilance du coefficient dynamique de la charge par roue.

Avec le système actuel, l'annonce vigilance est envoyée automatiquement par e-mail à l'entreprise de transport, mais pas au détenteur du véhicule, bien que ce dernier soit, par l'identification du véhicule intégrée dans la liste de train, connu du gestionnaire de l'infrastructure.

#### 2.2.1.2 Contrôle suite à l'annonce ZKE du 15 janvier 2015

Suite à l'annonce de vigilance (force de contact de la roue > 30 t) envoyée par le système de surveillance ZKE, le 15 janvier 2015, à l'entreprise de transport qui recommandait de contrôler les roues, aucun contrôle du wagon n'a été effectué par CFF-Cargo.

Un contrôle visuel du wagon, réalisé suite à la réception de l'annonce de ZKE par un contrôleur technique, n'aurait pas permis de détecter des irrégularités à l'intérieur d'une boîte d'essieu, car cette dernière ne présentait sur sa face extérieure, ni écoulement de graisse, ni traces de surchauffe. Entre janvier 2015 et le jour de l'accident, le wagon a été inspecté à plusieurs reprises à l'occasion des contrôles techniques lors de la formation des trains. Aucune irrégularité n'a été constatée.

#### 2.2.1.3 Monitoring du coefficient dynamique de roue

Entre le mois de janvier 2012 et le jour du déraillement, le wagon n° 20 a circulé exclusivement sur le territoire suisse. Ainsi, il a été possible de retracer a posteriori, à l'aide des données enregistrées par le système RLC, l'évolution dans le temps

de l'état de l'essieu 1 du wagon n° 20. Dans la majorité des cas, les wagons circulent sur des réseaux de gestionnaires d'infrastructure différents et quittent de ce fait fréquemment le territoire national. Par conséquent, il n'est pas possible d'assurer un suivi constant de l'état des roues d'un wagon et de dégager une tendance concernant l'évolution de l'état de la surface de roulement. Le système RLC fonctionnant de manière automatique, une surveillance ne devient possible qu'à partir de l'instant où le système émet une annonce vigilance. Alors seulement, il serait possible de mettre en place un suivi de l'évolution de l'état des roues. Mais, compte tenu du fait que plus de 40 millions d'essieux sont contrôlés annuellement par le système RLC sur le territoire suisse, l'opération est difficilement réalisable. Si de plus, le wagon circule à l'étranger, le suivi de l'état des roues par la mesure du coefficient dynamique n'est plus assuré, car actuellement, cette détection n'est opérationnelle que sur le territoire suisse.

#### 2.2.1.4 Possibilités d'interprétation des annonces vigilance RLC par l'entreprise de transport

Actuellement seules les informations découlant des annonces de détection ZKE "boîtes chaudes", "freins serrés" ou "rapport charge par roue" peuvent être traitées par les entreprises de transport, car les défauts imputables à de telles annonces peuvent être aisément identifiés.

A contrario, en raison de l'absence de base technique spécifique à une annonce de vigilance RLC concernant le coefficient dynamique de la charge par roue, une entreprise de transport aurait bien de la peine à définir des mesures de contrôle adéquates, ceci d'autant plus s'il s'agit d'une entreprise étrangère qui n'a pas connaissance des mesures développées, sur une base volontaire, par un gestionnaire d'infrastructure.

#### 2.2.1.5 Possibilités d'interprétation d'une annonce vigilance RLC dans le cas d'une mise à disposition de l'information au détenteur du wagon

La force de contact de la roue dépend fortement de l'état de chargement d'un wagon. Un wagon peut se faire détecter sur un trajet aller alors qu'il est chargé et au retour à vide, le même wagon ne va pas déclencher la moindre annonce de vigilance. L'entreprise de transport connaît l'état du chargement du wagon au moment de la détection alors que le détenteur du véhicule n'a pas d'indication de l'état de chargement des wagons sur tel ou tel trajet. De plus, l'identification des essieux 1 à 4 figurant dans l'annonce ZKE est dépendante du sens de circulation du wagon. Pour un détenteur de wagon, il est difficile d'interpréter des informations reçues du gestionnaire de l'infrastructure. Actuellement, en l'absence de base technique standardisée au niveau européen, un propriétaire de wagon, résidant le plus souvent à l'étranger, peut difficilement envisager des mesures de contrôle et de suivi de son véhicule.

### 2.2.2 Rails-repères implantés en bordure de voie

Les rails-repères installés en bordure de voie présentent, lorsqu'un wagon se couche en cas de déraillement, un risque important d'endommagement de son enveloppe. Pour un wagon contenant des produits liquides ou volatiles, un endommagement de l'enveloppe conduit à l'écoulement du contenu de la citerne.

Lorsque des canalisations d'évacuation des eaux de surface se trouvent à proximité, le risque qu'un produit s'écoule dans ces canalisations et se répande est important. Si le produit est volatil et inflammable il peut s'embraser après s'être écoulé dans les canalisations.

Un cas similaire s'est produit le 29 juin 2009 en gare de Viareggio (I), lorsque plusieurs wagons-citernes contenant du gaz de pétrole liquéfié (GPL) ont déraillé et se sont renversés. Trois minutes après le déraillement, une violente déflagration

s'est produite faisant 32 morts et une centaine de blessés. La citerne du premier wagon a été éventrée sur une longueur de 35 à 40 cm, laissant échapper son contenu (illustration 46, annexe 5).

Comme l'a démontré l'accident de Viareggio, la présence en bord de voie d'éléments saillants, comme les rails-repères, peut endommager les wagons au cas où ces derniers se couchent après avoir déraillés. La situation est similaire pour l'accident de Daillens, car des rails-repères étaient également présent en bord de voie. La citerne du wagon n° 19 a également été endommagée par les rails-repères lorsque le wagon s'est renversé sur le côté. Or, actuellement ces rails-repères n'ont plus d'utilité. Leur retrait permettrait de diminuer considérablement le risque d'endommagement de l'enveloppe d'un wagon lorsque celui-ci vient à se coucher sur le côté lors d'un déraillement.

### **2.2.3 Etat de la surface de roulement des roues et faux-rond en relation avec l'annonce ZKE**

Les bandes de roulement des roues de l'essieu 1 présentaient des excoriations importantes en forme de "S" sur toute leur circonférence.

La surface de roulement de la roue droite de l'essieu 3 présentait aussi des excoriations importantes, mais contrairement à l'essieu 1, celles-ci étaient disposées linéairement sur la bande de roulement. Entre janvier 2012 et le jour de l'accident, l'essieu 3 n'a jamais été détecté en vigilance par le système ZKE.

Ces excoriations sur la bande de roulement apparaissent consécutivement à la fatigue en profondeur du matériel. Des fissures surviennent à la surface de la roue suite à des contraintes mécaniques au point de contact roue-rail. Elles peuvent être "meulées", soit par le sabot de frein, soit par l'usure naturelle de la roue. Lors d'excoriations importantes, un reprofilage de la roue est parfois nécessaire. L'apparition de ces défauts n'est pas chose courante, mais est connue.

Compte tenu des dégâts subis par l'essieu 1 lors du déraillement, il n'a pas été possible de déterminer si le faux-rond de l'essieu se situait dans les tolérances admissibles. La mesure du faux-rond de l'essieu 3 se situait dans les tolérances admissibles et correspondait à la valeur relevée lors de la révision en 2011.

Etant donné ces constatations, un faux-rond d'essieu ne peut pas être à l'origine des excoriations constatés sur les essieux 1 et 3. Il en découle que les excoriations en forme de "S" constatées sur l'essieu 1 ne peuvent provenir que de mouvements latéraux répétés de l'essieu au point de contact roue-rail. Par conséquent, un faux-rond d'essieu n'est pas à l'origine de l'annonce de vigilance émise par le système RLC en date du 15 janvier 2015, mais bien le mouvement latéral de l'essieu.

## **2.3 Corrélation entre les températures relevées par le système ZKE et la détérioration de la boîte d'essieu**

### **2.3.1 Températures relevées à l'extrémité des paquets de lames de ressorts**

Sur le trajet entre Bâle et le dernier point de contrôle ZKE franchi à Gorgier, les boîtes d'essieu gauche et droite de l'essieu 1 du wagon n° 20 n'ont jamais dépassé la température de 51°C, soit une température normale pour une boîte d'essieu. Pour qu'une boîte d'essieu soit détectée comme "chaude" sa température doit être supérieure à 80°C.

La suspension de l'essieu est réalisée par l'intermédiaire des paquets de lames de ressort. Ces paquets de lames de ressort sont conçus pour absorber les mouvements verticaux de l'essieu, générés par les différentes configurations de la voie,

telle qu'un changement de déclivité ou de dévers ainsi que par les défauts géométriques de la voie. Ces paquets de lames de ressort ne sont pas conçus pour absorber les efforts de mouvements latéraux répétés, générés par les déplacements axiaux inappropriés d'une boîte d'essieu (illustration 35, annexe1).

Le température d'environ 140°C relevée par le système HFO, sur la droite de la boîte d'essieu 1 de la roue gauche, correspond exactement à l'endroit où les lames de ressort se sont rompues (illustration 34, annexe 1).

Bien que dépendant de l'état de chargement d'un wagon, le frottement généré par les déplacements verticaux des lames de ressort ne provoque pas une augmentation de température d'une telle ampleur. Le refroidissement naturel produit par la circulation de l'air lorsque le wagon est en mouvement empêche, dans des conditions d'utilisation normales, d'atteindre une telle valeur. C'est pourquoi, ce phénomène ne peut être que le fait d'efforts transversaux générés par le déplacement répété de la boîte d'essieu sur le paquet de lames de ressort. Comme un essieu monté forme un ensemble "rigide", l'effet thermique produit par le mouvement transversal répété de la boîte d'essieu est aussi visible sur le paquet de lames de ressort opposé (illustration 14). En comparaison, la température du paquet de lames de ressort de l'essieu 3, qui présentait des excoriations linéaires, n'a atteint à ses deux extrémités qu'une vingtaine de degrés centigrades (illustration 15). Si aucun mouvement transversal n'avait été généré par la boîte d'essieu gauche de l'essieu 1, la température à l'extrémité des paquets de lames de ressort ne se serait pas élevée dans une telle proportion.

### **2.3.2 Détérioration de la boîte d'essieu et tendance déductible des annonces ZKE**

Depuis la révision des bogies en août 2011, le wagon n° 33 80 7874 432-7 (wagon n° 20 le jour de l'accident) a parcouru environ 43 000 km. Cette charge kilométrique sur une durée d'environ trois ans se situe bien en dessous de la charge kilométrique annuelle moyenne d'un wagon marchandises qui est de l'ordre de 50 000 km.

Depuis sa première détection en "vigilance de la force de contact de roue" le 15 janvier 2015, le wagon a parcouru environ 4000 km jusqu'au jour du déraillement et ceci uniquement sur le réseau suisse. Depuis le 15 janvier 2015, il n'a pas plus été détecté ni en vigilance de la force de contact de roue, ni en coefficient dynamique de la charge par roue, par le système RLC et ceci jusqu'à sa détection à Gorgier, peu avant le déraillement. Or, sur la base d'une seule annonce, une tendance à la détérioration de la qualité de roulement du wagon ne pouvait être repérée par l'entreprise de transport.

## **2.4 Processus, certification ECM et assessment technique VPI**

### **2.4.1 Certification ECM de l'entité en charge de la maintenance**

La certification ECM mise en place est basée sur des critères d'évaluation de l'aptitude de l'entité chargée de l'entretien afin de s'assurer que l'entreprise certifiée dispose de procédures établies pour satisfaire aux exigences applicables définies par l'annexe III de la directive UE 445/2011 et de l'OTIF<sup>7</sup> et qu'elle soit apte à y répondre de façon cohérente.

La plus grande partie des contrôles visant à évaluer la fonction d'exécution de l'entretien, définis par les critères d'exigences de la directive EU 445/2011, consiste à

---

<sup>7</sup> Référence: document EU 445/2011 et OTIF A 94-30/1.2012

assurer que l'entité dispose de procédures et de processus. Ces derniers sont garants de la traçabilité mais ne garantissent pas la qualité de l'exécution du travail.

#### **2.4.2 Assessment technique VPI**

Lors de l'inspection technique réalisée par l'organisme VPI en avril 2015, aucune remarque n'a été émise quant au soin et la qualité de la chaîne de traitement des boîtes d'essieu. Pourtant, suite aux recommandations de sécurité émises par le SESE dans son rapport intermédiaire du 12 novembre 2015, l'organisme de certification a mentionné dans le rapport de contrôle effectué en novembre 2015 que la chaîne de montage des boîtes d'essieu fonctionnait ainsi depuis janvier 2015.

L'organisme VPI est géré et représenté majoritairement au sein de sa structure par les propriétaires de wagons. Ce même organisme procède au contrôle des ateliers en charge de la maintenance auxquels lesdits propriétaires de wagons délèguent l'entretien de leur flotte. Cette organisation ne permet pas à l'organisme VPI de faire preuve de toute l'indépendance requise.

#### **2.4.3 Efficacité de la certification ECM et de l'assessment technique VPI**

Les entités en charge de la maintenance qui désirent être certifiées ECM choisissent elles-mêmes l'organisme de certification et assument les coûts découlant de la certification. Ces entités se font certifier sur une base volontaire. Elles ont intérêt à ce que le processus de certification soit le moins onéreux possible. L'organisme de certification est en concurrence avec d'autres. Le soumissionnaire a intérêt à ce que le coût d'une certification ne soit pas plus élevé que la concurrence sans quoi il n'obtiendrait pas le mandat. Dans un tel cas, le risque que les travaux de certification soient exécutés sommairement, mais conformément à la commande de prestations établie sur la base de l'offre, est latent.

Dans le cas présent, lors des contrôles annuels ECM effectués dès 2013, l'organisme de certification n'a pas procédé lui-même au contrôle technique en atelier, mais s'est basé, pour cette partie de l'audit, sur l'expertise effectuée par VPI en 2012. En fin de compte, le travail en atelier n'a pas été vérifié annuellement par ECM car le rythme de contrôle VPI est de trois ans.

Bien que conforme, cette façon de procéder démontre clairement qu'actuellement, ni le système de certification ECM ni l'expertise technique VPI mis en place ne remplissent leur objectif, qui est de garantir un travail de qualité garant de la sécurité.

### **2.5 Aspects environnementaux**

D'une façon générale, l'écoulement de marchandises dangereuses consécutif à l'endommagement du contenant d'un wagon est néfaste à l'environnement. Si le produit parvient à atteindre des canalisations de récupération des eaux de surface, il peut se répandre rapidement bien au-delà de la zone d'un accident, comme cela s'est produit à Viareggio. Si les marchandises dangereuses contenues sont volatiles, des émanations toxiques dangereuses peuvent se produire.

## 3 Conclusions

### 3.1 Faits établis

- Aucune irrégularité n'a été constatée tant au niveau de l'infrastructure ferroviaire qu'au niveau des installations de sécurité.
- Peu avant l'endroit où les wagons ont déraillé, le train n° 60700 circulait à la vitesse de 100 km/h et respectait ainsi la vitesse maximum autorisée.
- Les deux locomotives étaient techniquement en ordre.
- Environ 500 m avant l'endroit où les wagons se sont immobilisés, le paquet de lames de ressort du système de suspension de la roue avant gauche du wagon n° 20 s'est brisé. Deux morceaux de lames de ressort ont été projetés sur les traverses en béton puis ont été éjectés dans les fougères sur le côté gauche de la voie. Un peu moins de 200 m après la rupture du paquet de lames de ressort, la boîte d'essieu avant gauche du wagon n° 20 s'est détachée, puis le paquet de lames de ressorts n'étant plus retenu par la boîte, s'est lui aussi détaché et est tombé sur le côté gauche de la voie. L'essieu n'étant plus guidé sur le côté gauche, le wagon a déraillé, peu après dans la courbe à droite au niveau de l'appareil de voie n° 17. En raison des efforts dynamiques importants générés lors du déraillement, le wagon n° 20 a effectué une rotation de 180° avant de se renverser sur le flanc.
- Les seize premiers wagons n'ont pas déraillé. Ils étaient techniquement en ordre.
- Le déraillement de l'essieu avant du wagon n° 17 est un effet secondaire du déraillement des wagons n°18 à 22.
- Le renversement des wagons n°18 et 19 est consécutif à l'effet dynamique généré par le wagon n° 20 qui a déraillé, avant de pivoter sur lui-même, et basculé sur le côté gauche de la voie.
- La citerne du wagon n° 19, lorsque qu'elle s'est renversée sur le côté, a été éventrée par les rails-repères et elle a laissé échapper son contenu de 25 tonnes d'acide sulfurique en contrebas de la voie.
- La citerne du wagon n° 20 a été légèrement endommagée laissant échapper environ 3000 litres de son contenu.
- Le bogie avant du wagon n° 22 a déraillé. Le wagon ne s'est pas renversé.
- La boîte d'essieu 1 gauche du wagon n° 20 ne présentait extérieurement ni trace d'écoulement de graisse ni trace de surchauffe.
- Lorsque le montage du disque de sécurité est effectué correctement, c'est-à-dire lorsqu'il appuie contre l'écrou cannelé et qu'il est maintenu par l'intermédiaire des deux vis de sécurité, serrées au couple prescrit, l'écrou cannelé est assuré contre tout desserrage intempestif. Comme la distance entre l'écrou cannelé et le couvercle de la boîte d'essieu est inférieure à la longueur de la vis de sécurité, cette dernière, si elle venait à se dévisser, ne pourrait s'extraire sans qu'un reste de filet ne reste prisonnier du filetage M10 de l'écrou cannelé. Dans l'écrou cannelé de l'essieu 1 gauche, seul des deux filetages comportait un reste de filet d'une vis de sécurité. Au fil du temps, comme il n'était plus assuré correctement, l'écrou cannelé s'est desserré ce qui a permis aux

roulements de la boîte d'essieu de se déplacer transversalement. Les mouvements axiaux répétés des roulements ont provoqué un échauffement non destructif entre les galets et les bagues de roulement.

- La présence élevée de particules métalliques abrasives retrouvées dans la graisse des roulements de la boîte d'essieu 1 gauche du wagon n° 20, ainsi que sa coloration grisâtre sont la conséquence d'une lente détérioration du roulement.
- La température de 140°C relevée à l'extrémité du paquet de lames de ressort gauche de l'essieu 1 du wagon n° 20 est la conséquence de mouvements transversaux répétés, générés par la dislocation de la boîte d'essieu. L'essieu formant un ensemble rigide, le déplacement transversal a été transmis également sur son côté opposé de l'essieu où une température d'environ 50°C a été mesurée sur le paquet de lames de ressort droit.
- La rupture subite du paquet des lames de ressort de l'essieu s'explique par le développement de fissures de fatigue dues aux mouvements transversaux répétés, générés par la boîte d'essieu défectueuse. Ces fissures se sont développées sur une très longue période comme le corroborent les traces de corrosion constatées. La détection visuelle des fissures sur le paquet de lames de ressort de l'essieu 1 gauche du wagon n° 20 n'était pas possible sans procéder au démontage dudit paquet.
- Bien que les bagues du roulement de l'essieu gauche aient présenté des traces d'échauffement, le jour de l'accident la température de la boîte d'essieu avant gauche du wagon n° 20 n'a jamais dépassé la température de 50 °C, qui est tout à fait normale pour un roulement d'essieu.
- Entre janvier 2015 et le jour de l'accident, le wagon n° 20 n'a circulé que sur le réseau ferroviaire suisse. Durant cette période, il a parcouru environ 4000 km. Il n'a jamais déclenché d'alarme "boîte chaude" ou "frein serré", y compris le jour de l'accident.
- Entre la détection en "vigilance force de contact de la roue" en janvier 2015 et la même détection à Ligerz, moins d'une heure avant le déraillement le wagon n° 20 n'a, malgré l'apparition de mouvements transversaux répétés au niveau de la boîte d'essieu 1, jamais été détecté en "vigilance force de contact de la roue".
- Suite à l'annonce de vigilance recommandant de contrôler les roues, envoyée le 15 janvier 2015 par le système de surveillance ZKE à l'entreprise de transport, aucun contrôle spécifique du wagon n° 20 n'a été effectué par CFF-Cargo. Par contre, les contrôles usuels prescrits lors de la formation des trains ont été effectués.
- La mesure du coefficient dynamique de la charge par roue des trains (dynamischer Beiwert) en circulation a fait l'objet d'un développement par CFF-Infrastructure. Actuellement il n'existe aucune base technique standardisée au niveau européen ni un catalogue des défauts pouvant être à l'origine d'une annonce de "vigilance de coefficient dynamique de roues".
- Sur les boîtes d'essieu 1 à 4 du wagon n° 20, le SESE a mis en évidence un problème de qualité dans le montage. L'inspection effectuée dans l'atelier de maintenance, qui a effectué la révision des bogies du wagon n° 20, a permis de mettre en évidence des lacunes dans le processus de révision des boîtes d'essieu.
- L'entité en charge de l'exécution de l'entretien du wagon n° 20 a été certifiée ECM en août 2012, puis ré-auditée chaque année.

### 3.2 Causes

La cause directe du déraillement du train n° 60700 à Daillens est la perte de la boîte d'essieu avant gauche du wagon n° 20.

La perte de cette boîte d'essieu est le résultat d'un long processus, initié lors des travaux de maintenance de ladite boîte d'essieu en août 2011. Lors de cette opération, le disque de sécurité de l'écrou cannelé qui fixe le roulement sur la fusée de l'essieu n'a pas été assuré correctement. Petit à petit, l'écrou cannelé s'est dévissé ce qui a provoqué, au fur et à mesure, les dégradations suivantes:

- sollicitation des galets du roulement de la boîte d'essieu dans le sens transversal;
- augmentation des déplacements latéraux de l'essieu 1 et apparition d'excoriations en forme de "S" sur la table de roulement des roues de cet essieu;
- fatigue puis fissure des lames de ressort de la suspension primaire de l'essieu 1 gauche.

Finalement ces dégradations ont provoqué le déraillement du wagon n° 20 à Daillens.

Les résultats des investigations ont permis de mettre en évidence le facteur contributif suivant:

- La certification ECM et les contrôles VPI n'ont pas permis de déceler les manquements dans le système de qualité du traitement des essieux au sein de l'entité en charge de la maintenance du wagon n° 20.

## 4 **Recommandations de sécurité et mesures prises après l'accident**

### 4.1 **Recommandations de sécurité**

Concernant les recommandations de sécurité, la législation suisse prévoit dans l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (OEIT) la réglementation suivante :

« Art. 48 Recommandations en matière de sécurité

<sup>1</sup> Le SESE adresse les recommandations en matière de sécurité à l'office fédéral compétent et en informe le département compétent. En cas de problèmes de sécurité urgents, il informe immédiatement le département compétent. Il peut donner son avis sur les rapports de mise en œuvre de l'office fédéral à l'attention du département compétent.

<sup>2</sup> Les offices fédéraux informent périodiquement le SESE et le département compétent de la mise en œuvre des recommandations ou des raisons pour lesquelles ils ont renoncé aux mesures.

<sup>3</sup> Le département compétent peut adresser des mandats de mise en œuvre à l'office fédéral compétent. »

Le SESE publie les réponses de l'office fédéral compétent ou des autorités de surveillance étrangères sur son site ([www.sust.admin.ch](http://www.sust.admin.ch)), offrant de la sorte un aperçu quant au degré de mise en œuvre de la recommandation de sécurité correspondante.

#### 4.1.1 **Rails-repères**

##### 4.1.1.1 **Déficit de sécurité**

Lors d'un déraillement, lorsqu'un wagon citerne se renverse, la présence en bord de voie d'éléments saillants, tels que les rails-repères, peut engendrer un endommagement de l'enveloppe du wagon et provoquer l'écoulement du contenu qui peut représenter divers dangers pour l'homme et l'environnement. Comme ces rails-repères ne sont plus utilisés aujourd'hui, leur suppression permettrait de diminuer considérablement ce risque.

##### 4.1.1.2 **Recommandation de sécurité n° 93**

Afin de diminuer le risque d'endommagement de wagons lors d'un déraillement, le SESE recommande à l'OFT, de faire procéder rapidement à la suppression des rails-repères saillants encore implantés en bordure de voie.

#### 4.1.2 **Système de surveillance du dispositif de contrôle des trains ZKE**

##### 4.1.2.1 **Déficit de sécurité**

Actuellement aucune prescription ou norme standardisée ne fixe une valeur limite pour le coefficient de charge dynamique de roue (dynamischer Beiwert) RLC. De plus, il n'existe aucun catalogue des irrégularités probables pouvant être à l'origine d'une telle annonce.

Lorsqu'une annonce "boîte chaude" ou "frein serré" est émise, la cause de l'irrégularité peut être facilement identifiée. A contrario, comme l'a démontré le présent accident, une détérioration à l'intérieur d'une boîte d'essieu peut engendrer une vibration, mais pas encore une augmentation détectable de la température de

la boîte d'essieu. Il est difficile pour une entreprise de transport, qui ne dispose pas de la connaissance des éléments qui pourraient être à l'origine d'un tel défaut, d'interpréter le défaut et de prescrire des mesures de contrôles adéquates. Une intervention rapide sur une boîte d'essieu en cours de dégradation permettrait de réduire considérablement le risque de destruction de la boîte et le risque de déraillement, dans le cas où le roulement venait à bloquer ou si la boîte commençait à se désolidariser.

#### 4.1.2.2 **Recommandation de sécurité n° 94**

Le SESE recommande à l'OFT d'encourager le déploiement du système de mesure du coefficient de charge dynamique de roue, de faire établir une base technique standardisée indiquant des valeurs limites de défauts ainsi qu'un catalogue des défauts associés à une telle annonce, afin que les entreprises de transports puissent, lors de la réception d'une annonce, prescrire des mesures de contrôles adéquates.

#### 4.1.3 **Paquet de lames de ressort trapézoïdales**

##### 4.1.3.1 **Déficit de sécurité**

Les paquets de lames de ressort sont des éléments primordiaux d'un essieu monté. Ils sont l'un des garants du contact roue-rail. La rupture d'un paquet de lames de ressort provoque une asymétrie au niveau de l'essieu, et peut en fonction de la géométrie de la voie et des conditions de charge de l'essieu, engendrer le délestage d'une roue et conduire à un déraillement.

Les valeurs du diagramme de force obtenues lors du contrôle sur le banc d'essai d'un paquet de lames de ressort peuvent très bien être dans les limites de tolérances admissibles alors qu'une ou plusieurs lames présentent des amorces de fissures. La détection visuelle des fissures dans un paquet de lames de ressort comportant huit lames montées l'une sur l'autre n'est pas possible. Lors de la révision, le contrôle du diagramme de force à lui seul ne permet pas de garantir que le paquet de lames de ressort soit exempt de fissures qui sont les prémisses d'une rupture probable du paquet de lames de ressort.

##### 4.1.3.2 **Recommandation de sécurité n° 95**

Le SESE recommande à l'OFT de faire adapter les spécifications techniques du contrôle des lames de ressort lors des révisions afin qu'en plus de la vérification du diagramme de force, un contrôle supplémentaire permettant de détecter d'éventuelles amorces de fissures dans les lames soit prescrit.

#### 4.1.4 **Certification ECM des ateliers en charge de la maintenance**

##### 4.1.4.1 **Déficit de sécurité**

En matière de sécurité, les essieux des wagons sont des organes importants du matériel roulant.

Le système de certification actuel fonctionne sur la base de principes économiques qui prévalent souvent au détriment de la sécurité. Comme le démontre le cas en question, lors des audits annuels, l'organisme de certification n'a pas effectué lui-même la totalité de l'audit, mais pour la partie "travail en atelier" a utilisé comme référence, l'assessment technique effectué par un organisme géré et représenté au sein de sa structure par les propriétaires de wagons. Bien que conforme, cette pratique soulève la question de la garantie de l'indépendance dans une démarche de certification.

#### 4.1.4.2 **Recommandation de sécurité n° 96**

Le SESE recommande à l'OFT de faire adapter la réglementation ECM concernant la certification des entités en charge de la maintenance afin que la certification et les audits des ateliers en charge de la maintenance (fonction "d" du système ECM) ne soit plus déléguée à des organismes tiers mais placée sous la responsabilité des autorités nationales de surveillance.

## 4.2 **Mesures prises depuis l'accident**

Les recommandations de sécurité émises dans le rapport intermédiaire du 12 novembre 2015 ont été mises en œuvre.

Le bureau d'enquête du SESE

Ce rapport final a été approuvé par la commission du Service suisse d'enquête de sécurité SESE (art. 10 lit. h de l'Ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans la domaine des transports du 17. décembre 2014).

Berne, 22 septembre 2016

Annexe 1

Paquet de lames de ressort, températures relevées et forces induites

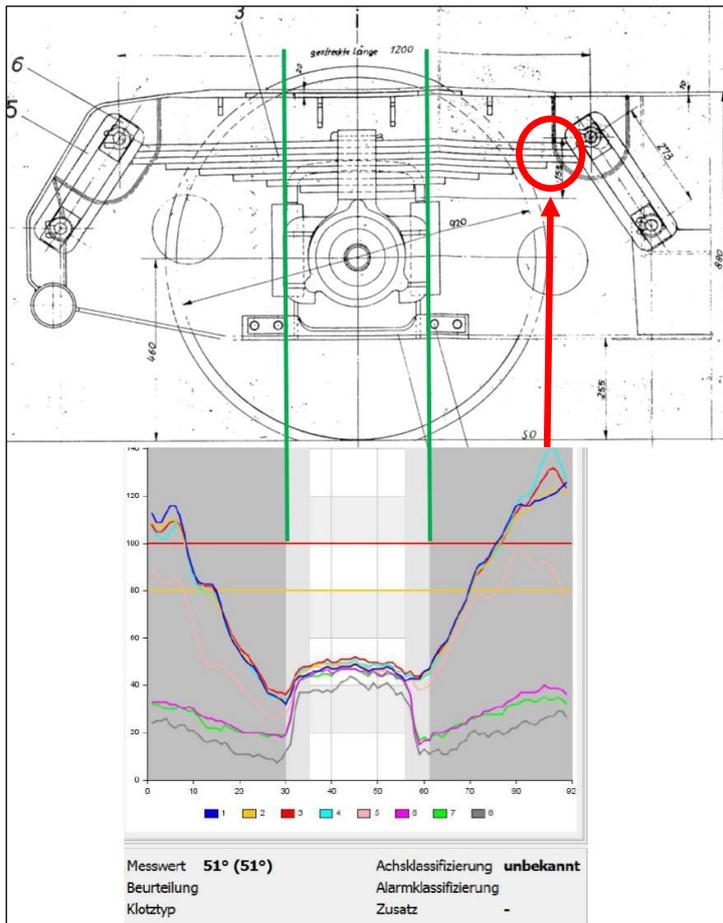


Illustration 34: corrélation entre l'endroit de la rupture des lames (cercle rouge) et la mesure de température du système ZKE.

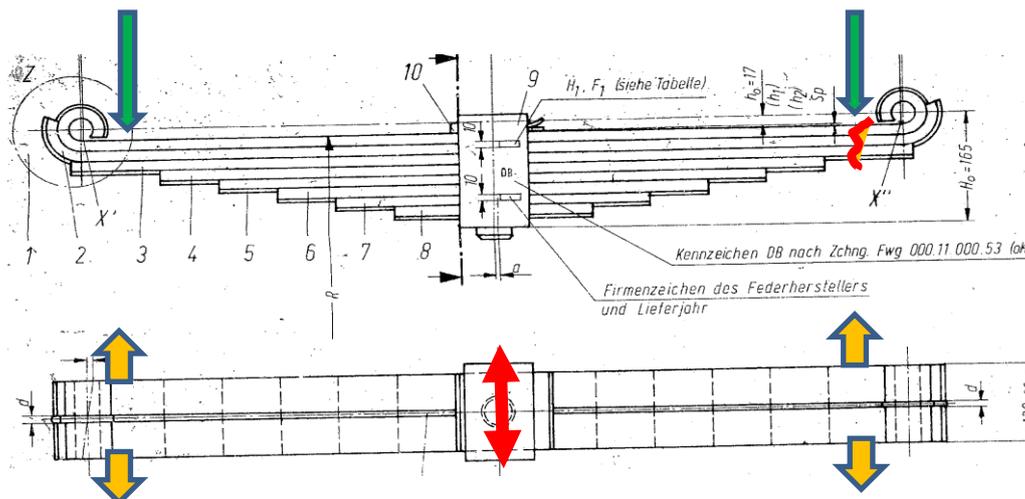
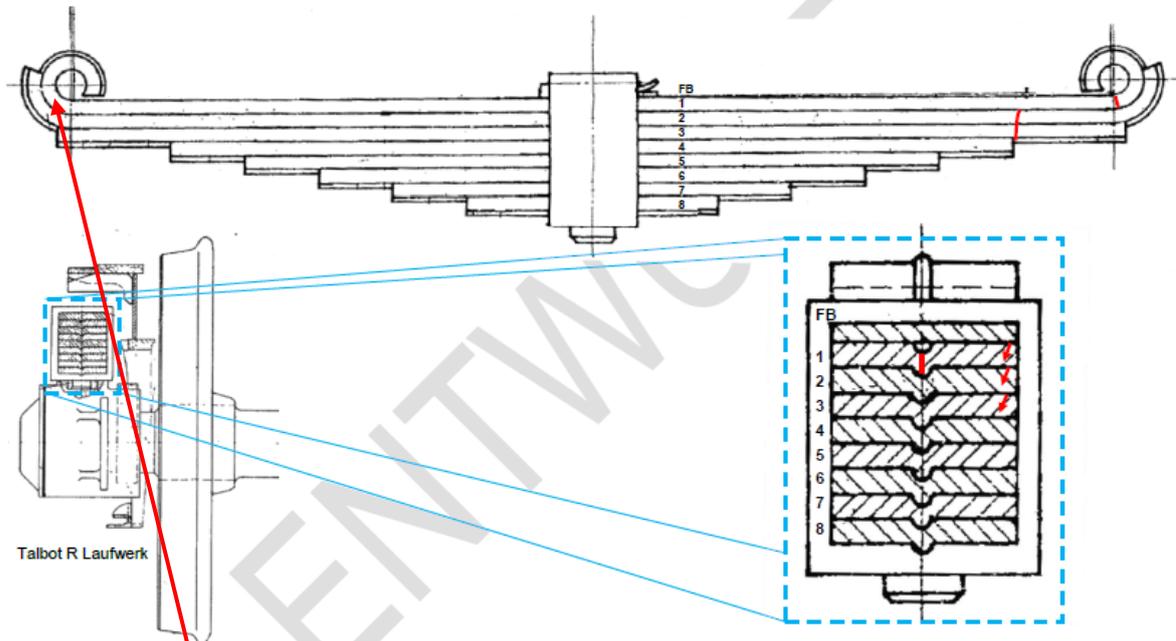


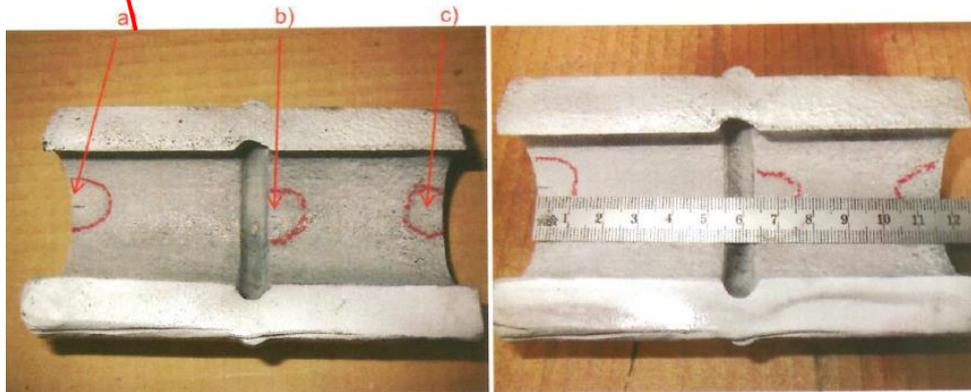
Illustration 35: absorption des forces par le paquet de lames de ressort; flèches vertes: mouvements verticaux de la suspension primaire de l'essieu en service; flèche rouge: déplacement généré par le mouvement de la boîte d'essieu dû au desserrage de l'écrou; flèche jaune: mouvements à l'extrémité du paquet de lames de ressort qui ont généré l'augmentation de température.

## Annexe 2

Dessin du paquet de lames de ressort et emplacement des fissures



Talbot R Laufwerk

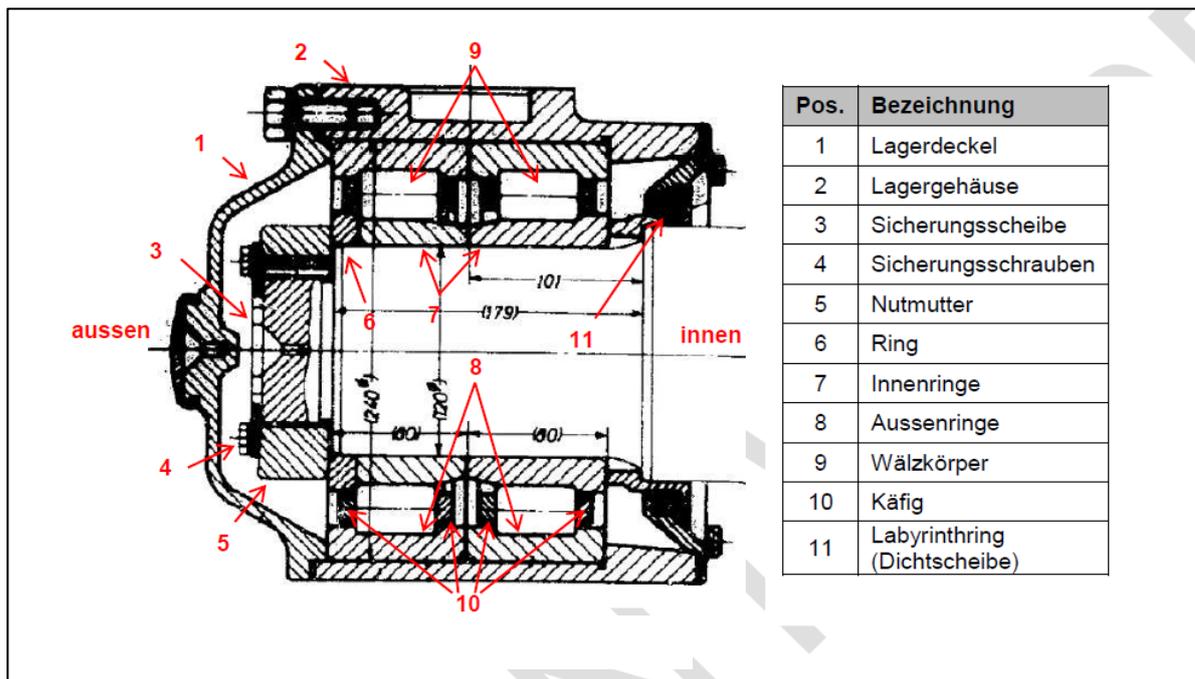


Auge, Federblatt L1 links

**Illustration 36:** fissures apparues sur la partie opposée du paquet de lames de ressort gauche lors de la magnétoscopie.

## Annexe 3

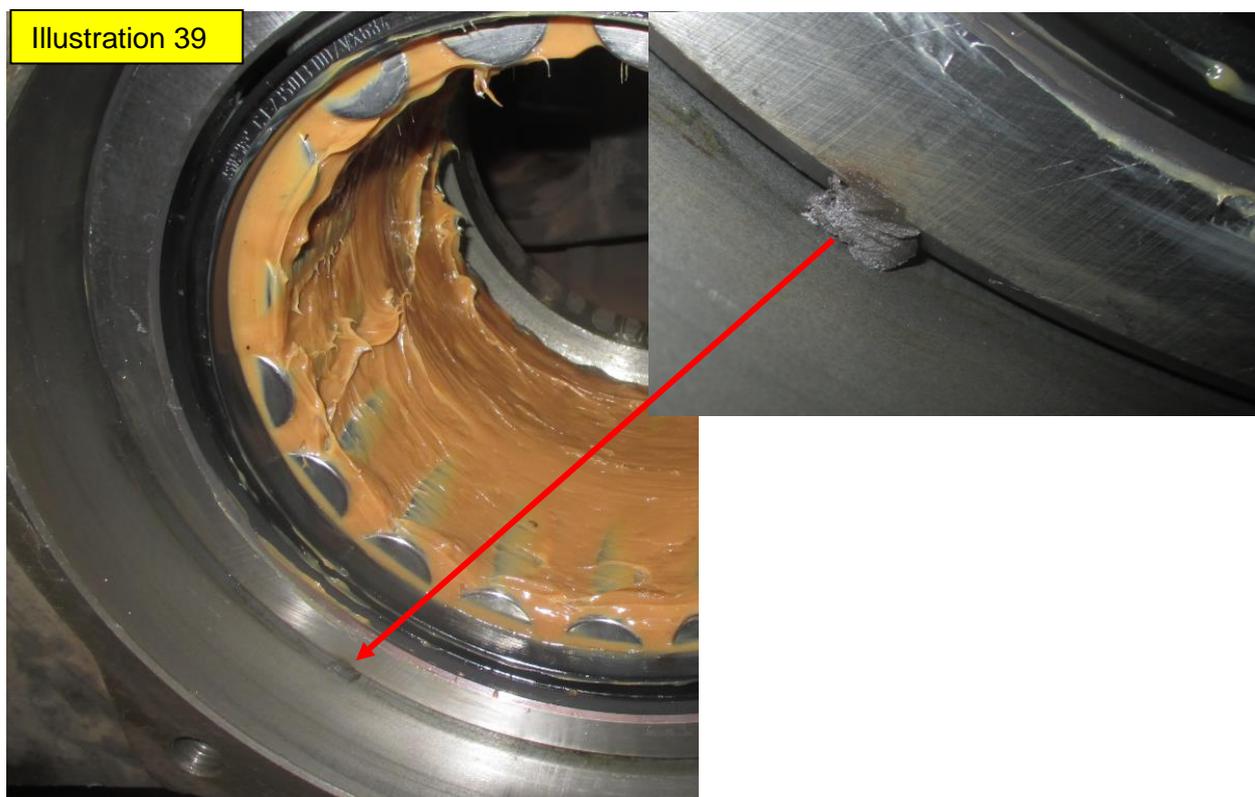
Dessin de la boîte d'essieu



**Annexe 4:**

Documentation photographique établie suite à la visite de l'atelier de maintenance du 28 octobre 2015.







Détails de l'illustration 42: particules métalliques et restes de peinture

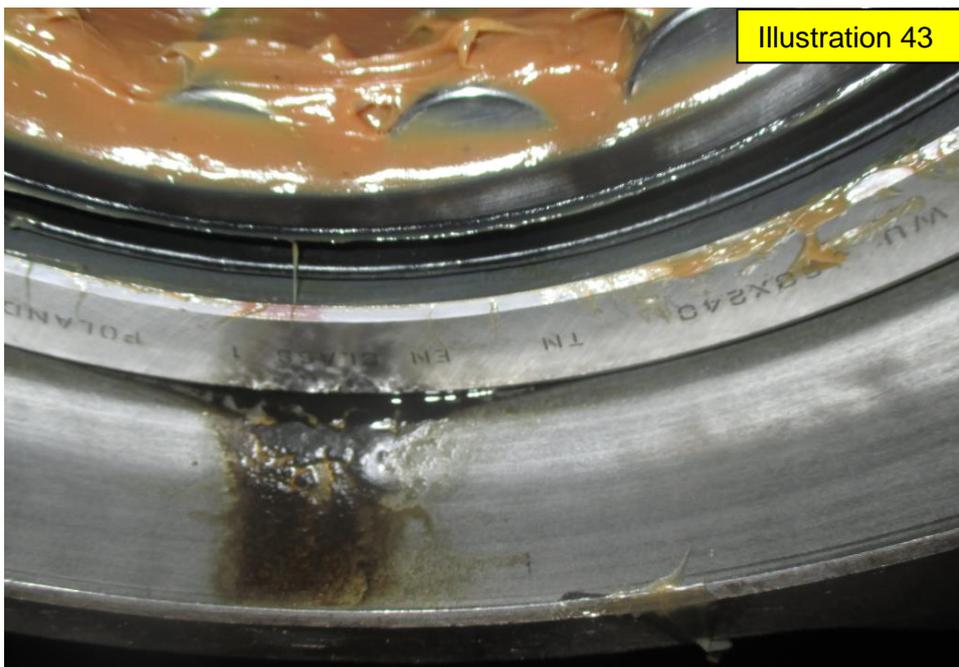


Illustration 43

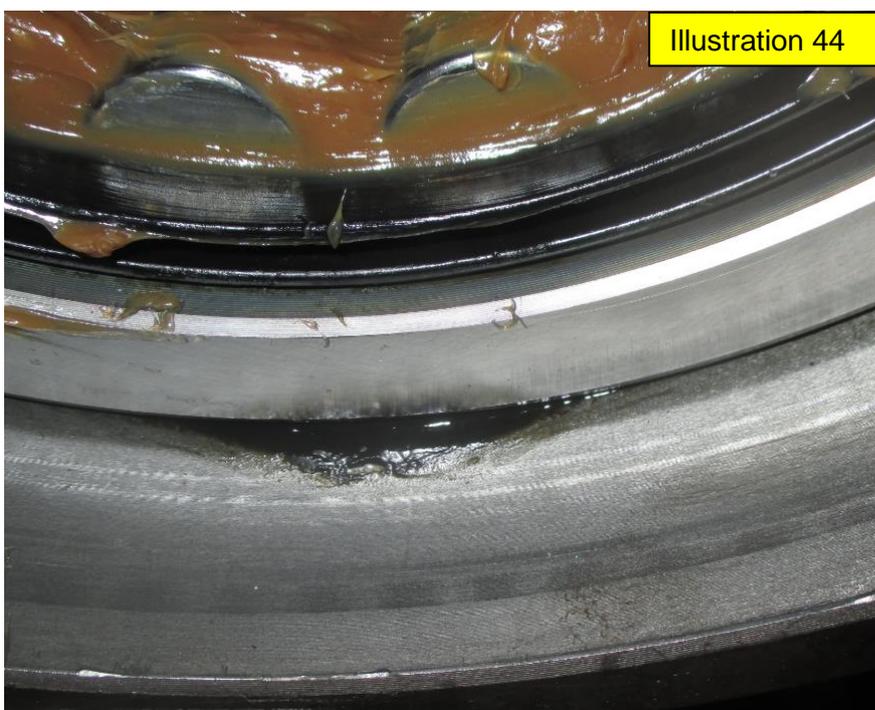


Illustration 44

**Annexe 5**

Endommagement des citernes des wagons, cas Viareggio et Dailens

Dégâts similaires provoqués par les rails-repères



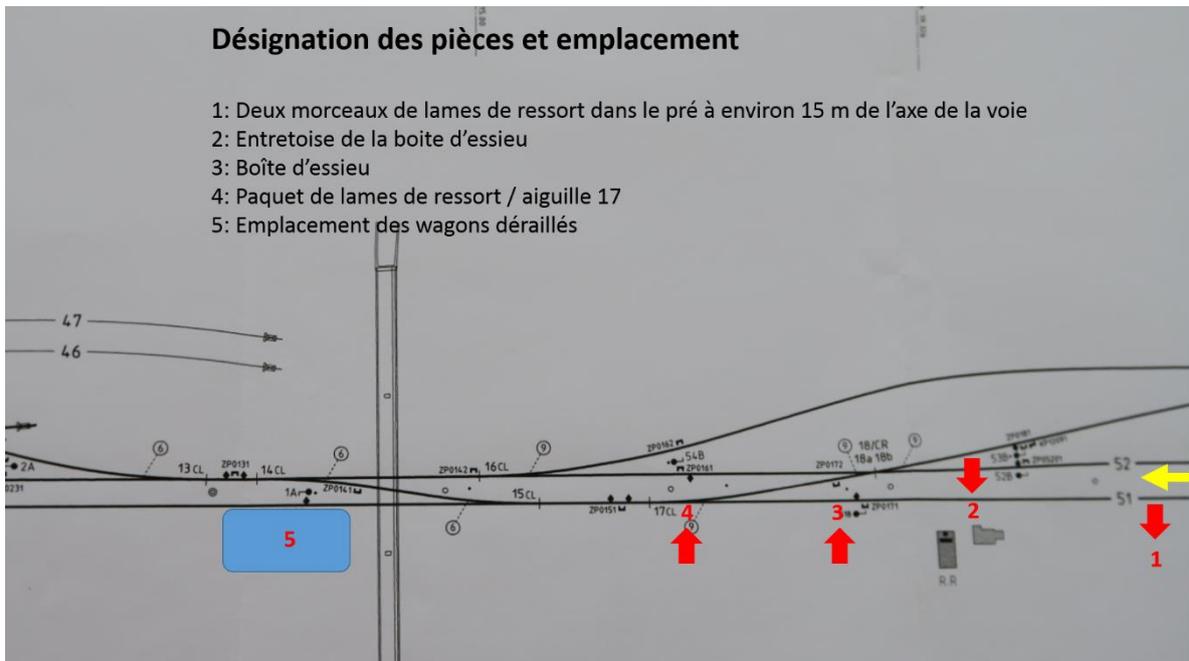
**Illustration 45:** citerne du wagon 19 éventrée par les rails-repères.



**Illustration 46:** endommagement de la citerne d'un wagon lors du déraillement de Viareggio (Source: Relazione del 23 marzo 2012, Direzione Generale per le Investigazioni Ferroviarie).

## Annexe 6

Relevé des emplacements des pièces perdues par le wagon 20



**Illustration 47:** Relevé des indices et report sur plan des installations de sécurité (Source: Plan CFF; adjonctions SESE)