

# Rapport d'Enquête de Sécurité

## Implosion d'un tube à fumée du côté pot à fumée d'une locomotive vapeur sur une ligne touristique survenue à Maldegem le 30 avril 2016



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

*En cas de contradiction entre certains mots et termes, il est nécessaire de se référer à la version française.*



64 250

# 1. RÉSUMÉ

## **Nature de l'accident**

*Implosion* d'un tube à fumée du côté pot à fumée d'une locomotive vapeur sur une ligne touristique.

## **Type d'enquête de sécurité**

L'accident ne répond pas à la définition d'accident grave mais l'OE a décidé d'ouvrir une enquête limitée pour déterminer les raisons ayant entraîné l'accident qui, dans des circonstances légèrement différentes, aurait pu amener à un accident grave.

## **Date et heure de l'incident**

30 avril 2016 vers 13h45 durant le *stoomfestival* (festival vapeur) organisé par l'asbl StoomCentrum Maldegem.

## **Lieu de l'accident**

Trajet depuis Eeklo vers Maldegem peu après le passage à niveau (PN) 35 (Balgerhoeke – Eeklo).

## **Train**

Locomotive à vapeur 64-250 "Bubikopf" avec 3 voitures de type K.

La locomotive appartient à l'asbl "Chemin de Fer à Vapeur des 3 Vallées" (CFV3V), invitée par l'asbl StoomCentrum Maldegem.

## **Présentation succincte**

Durant le festival vapeur organisé par l'asbl StoomCentrum Maldegem, le train effectue un trajet depuis Eeklo vers la gare de Maldegem. Un peu après le PN 35, la locomotive roule à une vitesse d'environ 10 km/h. A la hauteur du pont de Balgerhoeke au-dessus du canal Schipdonk, un bruit d'explosion se fait entendre et le poste de pilotage se remplit de vapeur.

Quatre personnes se trouvaient dans le poste de conduite : le conducteur du StoomCentrum (qui possède la connaissance de la ligne parcourue) et 3 machinistes de Mariembourg (qui possèdent la connaissance du matériel roulant : la locomotive).

## **Victimes**

le conducteur, blessé;

2 des 3 machinistes, grièvement brûlés, sont emmenés à l'hôpital (Gent & Neder-over-Hembeek).

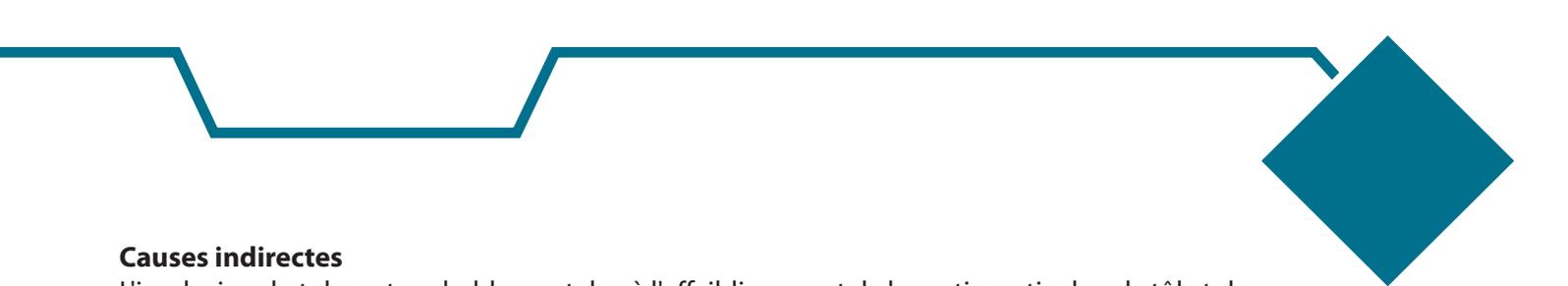
## **Causes directes**

Implosion du tube permettant à une partie de la vapeur d'eau sous pression de se retrouver dans le foyer de la chaudière et, via la porte du foyer, dans le poste de conduite.

La locomotive BR64 va subir un remplacement complet de ses tubes, ainsi qu'une épreuve hydraulique par un organisme agréé.

Le remplacement des tubes (petits et gros diamètres) sera consigné sur un plan représentant la tôle tubulaire.

Les tubes de gros diamètres seront systématiquement remplacés tous les 20 ans.



### **Causes indirectes**

L'implosion du tube est probablement due à l'affaiblissement de la partie sertie dans la tôle tubulaire lors du mandrinage en conjonction avec la corrosion du tube.

Une étude de faisabilité est en cours pour doser automatiquement le produit de traitement de l'eau utilisée dans la chaudière lors du remplissage, sans avoir à le manipuler manuellement. Ce principe devrait amoindrir les effets néfastes de l'oxydation et augmenter la longévité des faisceaux tubulaires.

Nous recommandons aux exploitants de ligne ferroviaire musée d'évaluer et de prendre des mesures, si nécessaire, pour limiter l'impact de l'eau utilisée.

### **Causes sous-jacentes**

L'inspection visuelle des tubes à distance ne permet pas de détecter l'affaiblissement de la partie sertie.

Le risque d'implosion n'étant pas identifié par l'entreprise, l'inspection ayant pour but de détecter ce type de dégradation éventuelle n'a pas permis de découvrir un signe d'affaiblissement.

Toutes les locomotives équipées de surchauffe ont également subi une inspection visuelle approfondie avec une recherche de signe d'affaiblissement conformément au risque maintenant détecté.

Les autres locomotives ont ou feront l'objet d'un rapport contradictoire par une entreprise externe et ont été retirées du service jusqu'à nouvelle autorisation.

## 2. EXPLOITANTS DES LIGNES FERROVIAIRES MUSÉES CONCERNÉS

La loi du 26 mars 2014 règle l'ensemble des prescriptions relatives à la sécurité d'exploitation des lignes ferroviaires musées. Afin d'exploiter une ligne ferroviaire musée l'exploitant doit disposer d'une autorisation d'exploitation, délivrée par l'autorité de sécurité.

L'exploitant de la ligne ferroviaire musée adopte les règles d'exploitation et exploite la ligne ferroviaire musée en conformité avec celles-ci, ainsi qu'avec le système de gestion de sécurité et avec les dispositions de sécurité relatives à l'infrastructure, au matériel et au personnel de sécurité, déterminées par le Roi.

L'autorisation d'exploitation est valable dix ans et peut être renouvelée à la demande de l'exploitant de la ligne ferroviaire musée.

L'exploitant établit, en vue de sa demande d'une autorisation d'exploitation, un dossier avec une description technique du matériel qu'il veut utiliser conformément aux dispositions de l'Arrêté royal du 8 mai 2014 fixant les dispositions de sécurité relatives au matériel des lignes ferroviaires musées.

Les dispositions de sécurité par rapport au matériel sont établies dans le dossier de l'autorisation d'exploitation sur base d'une visite technique, par un expert matériel.

Après la délivrance de l'autorisation d'exploitation, les dispositions de sécurité par rapport au "matériel" sont contrôlées par des visites techniques périodiques, par un expert matériel.

### 2.1. STOOMCENTRUM MALDEGEM

Quelques enthousiastes du rail qui pratiquaient déjà le modélisme, voulaient goûter le plaisir de leur hobby à échelle 1/1 le long des tronçons abandonnés de la ligne 58. Fin 1988, le StoomCentrum Maldegem construisait une voie étroite sur l'assiette Maldegem - Donk de l'ancien tronçon Maldegem - Bruges. L'association reprenait également l'exploitation de la section Eeklo - Maldegem pour des trains touristiques sur voie normale. La ligne Eeklo - Maldegem fut ouverte en mai 1990 au trafic ferroviaire touristique. Depuis lors, il y a de nouveau une liaison ferroviaire dans le Meetjesland vert.

L'exploitation, l'entretien et la restauration du matériel sont effectués par des volontaires.

L'association est l'organisatrice du *stoomfestival*.

L'exploitant de transport ferroviaire touristique est en possession d'une autorisation d'exploitation conformément à la loi du 26 mars 2014 depuis le 17 juillet 2015.

L'exploitant a prévu une procédure<sup>1</sup> permettant, sous certaines conditions, à l'association d'utiliser du matériel roulant qui n'est pas inclus sur sa liste d'équipement permanent : l'Autorité Nationale de Sécurité a été informée lors de la demande introduite pour l'obtention du permis d'exploitation. Cela peut aussi bien être le cas pour des unités de traction que pour du matériel roulant voyageurs. Le matériel peut être invité à participer à un événement pour un week-end prolongé comme ce fut le cas lors du *stoomfestival*. Un expert matériel roulant doit notamment vérifier que le matériel roulant est compatible avec l'infrastructure de la ligne musée. L'expert complète la fiche de conformité dont le modèle est déterminé par le SSICF selon la procédure de l'exploitant<sup>2</sup>. La fiche est identique pour le matériel roulant de l'association et pour le matériel roulant invité (d'une autre association).

1 Deel A: Veiligheidsbeheerssysteem: Hoofdst. 15 Occasioneel gebruik van rollend materieel

2 La procédure de l'exploitant devrait être adaptée vu que le modèle n'est pas déterminé par le SSICF mais par l'Arrêté royal du 8/05/2014.

## 2.2. CHEMIN DE FER À VAPEUR DES 3 VALLÉES ASBL

En 1973, une poignée de passionnés du chemin de fer à vapeur décide de faire revivre ce moyen de transport disparu de la vie quotidienne depuis 7 ans déjà.

Le « Chemin de fer à vapeur des 3 vallées » (CFV3V) est une association sans but lucratif dont l'objectif est de faire revivre un train à vapeur sur une ligne de chemin de fer à voie normale, la ligne L 132, entre Mariembourg et Treignes soit  $\pm$  14 kilomètres de voies serpentant au sein de la vallée du Viroin.

L'exploitation, l'entretien et la restauration du matériel sont effectués par des volontaires.

Depuis le 13 juin 2015, l'exploitant de transport ferroviaire touristique est en possession d'une autorisation d'exploitation, conformément à la loi du 26 mars 2014.

### **L'association est propriétaire de la locomotive impliquée dans l'incident.**

La locomotive à vapeur 64-250 était invitée par l'association StoomCentrum à participer au *stoomfestival*.

L'exploitant de la ligne ferroviaire musée a établi, en vue de sa demande d'une autorisation d'exploitation, un dossier avec une description technique du matériel (dont la locomotive à vapeur 64-250) conformément aux dispositions de l'Arrêté royal du 8 mai 2014 fixant les dispositions de sécurité relatives au matériel des lignes ferroviaires musées.

## 3. INSTALLATIONS FERROVIAIRES

Les dispositions de sécurité relatives à l'infrastructure de la ligne ferroviaire musée sont établies dans le dossier de l'autorisation d'exploitation conformément aux exigences définies dans l'Arrêté royal du 8 mai 2014 fixant les dispositions relatives à l'infrastructure des lignes ferroviaires musées.

Les dispositions de sécurité relatives à l'infrastructure de la ligne ferroviaire musée comprennent au moins les éléments suivants :

- 1° les mesures géométriques et les tolérances de sécurité de la voie par rapport au matériel,
- 2° la périodicité des visites techniques de la voie, qui ont lieu au moins tous les deux ans;
- 3° la périodicité des visites techniques des ouvrages d'art, qui ont lieu au moins tous les six ans;
- 4° les périodicités d'entretien de la voie et des appareils de voie;
- 5° la liste des opérations d'entretien minimales et des essais périodiques des installations de passage à niveau, en ce compris de leurs dispositifs de commande et de sécurité;
- 6° la liste des mesures de détection de pannes ou de dysfonctionnement des installations de passage à niveau.

### 3.1. LA LIGNE 58

En 1862, le chemin de fer privé d'Eeklo à Bruges fut inauguré comme prolongement de la ligne 58 Gand - Eeklo. En 1900 la ligne était reprise par l'Etat Belge et devenait dès lors une ligne de moindre importance par rapport à la connexion plus directe Gand - Aalter - Bruges (actuellement la ligne 50a).

Finalement, le 26 février 1959, un service d'autobus plus rentable mettait le point final à l'exploitation de la section Eeklo - Bruges pour les trains de voyageurs. La voie entre Eeklo et Maldegem était encore utilisée quotidiennement pour un train de marchandises jusqu'au 26 avril 1988. C'est en mai 1990 que la ligne fut à nouveau ouverte par l'association.

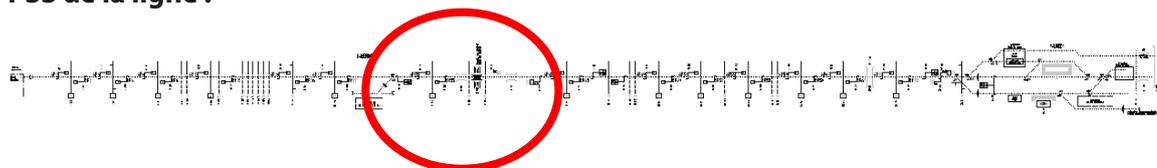
C'est une ligne à voie normale, l'écartement de la voie est de 1435 mm. La vitesse de référence du trafic ferroviaire sur une ligne musée est de 50 km/h<sup>3</sup>. C'est la vitesse maximum sur une ligne. La ligne est traversée par de nombreux passages à niveaux :

- 3 PN de catégorie 2;
- 14 PN de catégorie 3;
- 13 PN de catégorie 4.

La vitesse maximum est de 30 km/h mais certaines sections sont limitées à 10 km/h;

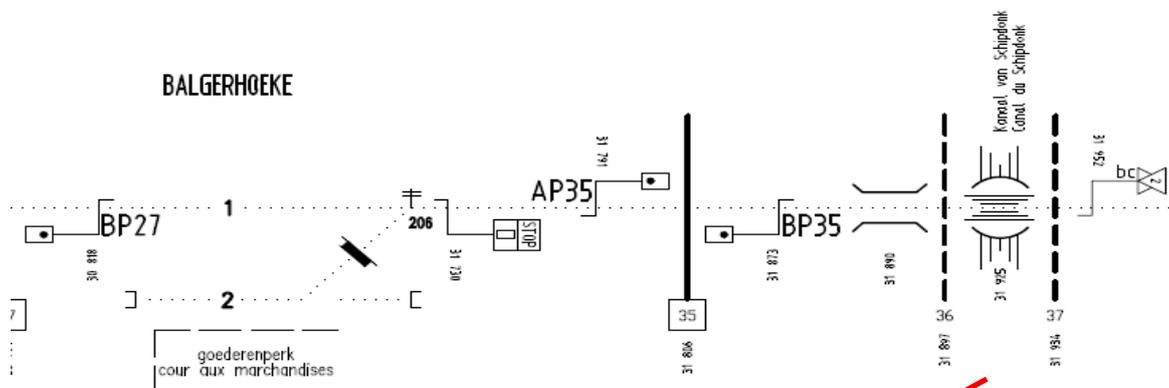
- entre Eeklo et le PN 6;
- entre la borne kilométrique 31.000 et 32.050;
- du PN 70 jusqu'à Maldegem.

**PSS de la ligne :**



cf agrandissement

## 3.2. LA PORTION DE LIGNE CONCERNÉE PAR L'INCIDENT



L'incident s'est déroulé en ligne droite sur le pont surplombant le canal Schipdonk.

La vitesse sur la section de ligne où s'est produit l'incident est limitée à 10 km/h.

Le PSS n'est pas à jour. Des différences ont été constatées, à titre d'exemple :

- PN 18 est fermé mais toujours renseigné;
- panneau de limitation de vitesse 20 km/h est retiré sur le terrain mais toujours renseigné sur le PSS.

## 3.3. ENTRETIEN DES INSTALLATIONS FERROVIAIRES

L'entretien des installations est réalisé par l'opérateur ferroviaire musée.

Conformément à l'arrêté royal, l'inspection technique doit être effectuée tous les deux ans par un expert Infrastructure avant le début de la saison officielle. A titre d'exemple : largeur des voies, nivellement, vérification des aiguillages, états des rails, etc. sont contrôlés.

Un rapport est établi avec les actions correctives à entreprendre et avec les points d'attention à surveiller. Le rapport est envoyé à l'Autorité Nationale de Sécurité.

Les Passages à Niveaux sont inspectés chaque année, la dernière inspection est intervenue en date du 22/04/2016.

L'infrastructure ferroviaire n'a pas eu d'incidence sur le déroulement de l'incident.

## 4. PERSONNES IMPLIQUÉES

Arrêté royal du 8 mai 2014 fixant les dispositions de sécurité relatives au personnel de sécurité des lignes ferroviaires musées.

Les fonctions de sécurité sont les suivantes:

- a) conducteur;
- b) accompagnateur de trains de voyageurs;
- c) agent chargé de la surveillance, de l'application des procédures d'exploitation, de la deserte des appareils de voie et des installations de signalisation;
- d) agent chargé de la visite technique du matériel;
- e) agent préposé aux manœuvres;
- f) agent responsable de l'exécution des travaux;
- g) factionnaire;
- h) garde-barrières.

Le personnel exerçant une fonction de sécurité est certifié par l'exploitant de la ligne ferroviaire musée.

Par certification, il faut entendre l'acte par lequel l'exploitant de la ligne ferroviaire musée décide qu'une personne peut exercer une ou plusieurs fonction(s) de sécurité.

Le principe de cette procédure est de vérifier que la personne à certifier est apte au niveau:

- 1° professionnel (vérification que les objectifs de la formation fondamentale ou complémentaire sont effectivement atteints);
- 2° médical, si cela est nécessaire;
- 3° psychologique, si cela est nécessaire.

La certification est matérialisée par la délivrance d'un permis d'exercer une fonction de sécurité. L'exploitant de la ligne ferroviaire musée s'assure préalablement que la personne concernée remplit les conditions d'aptitude professionnelle requises, et le cas échéant, les conditions médicales et psychologiques et qu'elle est informée des caractéristiques et des spécificités des fonctions de sécurité qu'elle sera appelée à exercer.

Un permis est délivré par l'exploitant de la ligne ferroviaire musée, nominativement à la personne certifiée, qui atteste de ce fait que le titulaire:

- 1° a éventuellement satisfait aux examens médicaux et psychologiques;
- 2° a satisfait aux formations fondamentales et complémentaires;
- 3° possède les connaissances spécifiques à certaines fonctions de sécurité (connaissance de lignes ou d'installations, connaissance du matériel, connaissance des procédures d'exploitation de la ligne ferroviaire ou du tronçon, ...).

Plusieurs personnes se trouvaient dans le poste de conduite au moment de l'incident :

- le conducteur de l'association StoomCentrum (ayant la connaissance de ligne)
- 3 machinistes de l'association de CFV3V, (ayant la connaissance du matériel roulant : la locomotive).

Le conducteur de l'association StoomCentrum n'a pas de licence pour circuler sur le réseau ferroviaire d'Infrabel mais est listé sur la liste des conducteurs de l'exploitation de la ligne ferroviaire musée.

Il possède la connaissance de la ligne mais pas du matériel roulant.



Les données des volontaires sont suivies par un gestionnaire de dossier soumis au secret médical qui remet un avis au conseil d'administration.

Chaque membre est responsable de tenir son dossier à jour et d'informer le gestionnaire de dossier pour l'informer des modifications.

StoomCentrum utilise généralement des conducteurs travaillant auprès d'autres opérateurs ferroviaires certifiés (SNCB, Infrabel, Crossrail,...) qui sont certifiés pour les tâches de sécurité «conduite».

Les nouveaux candidats conducteur qui ne sont pas occupés en qualité de conducteur dans une autre entreprise ferroviaire, doivent se rendre au moins une fois au centre médical CPS pour vérifier qu'ils sont aptes au niveau médical et psychologique. Le Conseil d'administration peut toujours demander au cas par cas à un collaborateur de se soumettre au test psychologiques et/ou médical pour conserver les fonctions de sécurité.

Selon le manuel de procédures<sup>4</sup> de StoomCentrum, le conducteur a la responsabilité de conduire la locomotive et doit s'assurer d'une utilisation correcte de l'eau et de la purge de la chaudière. Il est responsable du service du machiniste.

Le machiniste est responsable du préchauffage de la locomotive, de l'alimentation de la chaudière avec le charbon et l'eau. Il est également responsable de garder un œil sur la signalisation et le trafic.

La locomotive appartient à l'association CFV3V, les machinistes et l'aide machiniste possèdent la connaissance du matériel roulant.

Conformément aux exigences de l'AR 8 mai 2014, l'association CFV3V possède un fichier retenant les compétences des membres ainsi que les dernières formations suivies.

L'Association confirme que le machiniste-conducteur, présent le jour de l'accident, possède une longue expérience, de plus de 30 ans, de conduite des locomotives.

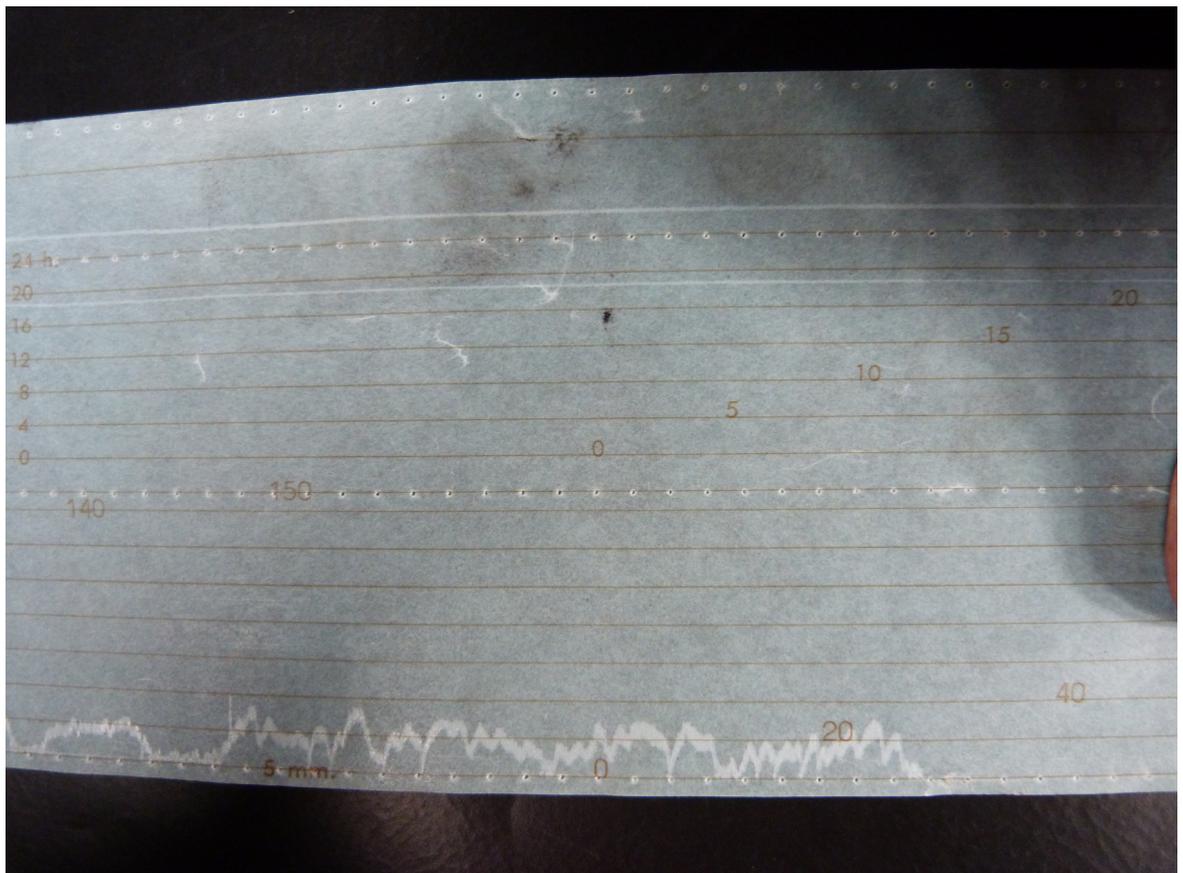


## 5. VÉHICULE FERROVIAIRE IMPLIQUÉ

Les dispositions de sécurité par rapport au matériel sont établies dans le dossier de l'autorisation d'exploitation sur base d'une visite technique, par un expert matériel.

Après la délivrance de l'autorisation d'exploitation, les dispositions de sécurité par rapport au "matériel" sont contrôlées par des visites techniques périodiques, par un expert matériel.

### 5.1. ANALYSE DES DONNÉES DU TRAIN : BANDE TELOC



La vitesse maximale des véhicules est déterminée en fonction de la stabilité de marche, de la puissance de freinage, de la charge à l'essieu des véhicules ainsi que de la distance de freinage et de l'infrastructure de la ligne ferroviaire musée sur laquelle ces véhicules circulent.

La vitesse maximum est de 30 km/h sur toute ligne à l'exception de certains sections limitées à 10 km/h.

La vitesse sur la section entre les BK 31000 et BK 32050, où se trouve le pont au-dessus du canal Schipdonk, ne peut être supérieure à 10 km/h.

La vitesse de la locomotive est enregistrée sur une bande papier.

Au moment de l'accident, la locomotive circulait à une vitesse estimée à  $\pm 10$  km/h

## 5.2. LOCOMOTIVE À VAPEUR DE TYPE 64-250



La série 64 (origine : Allemagne) a été construite à 520 exemplaires et portait le surnom de "Bubikopf".

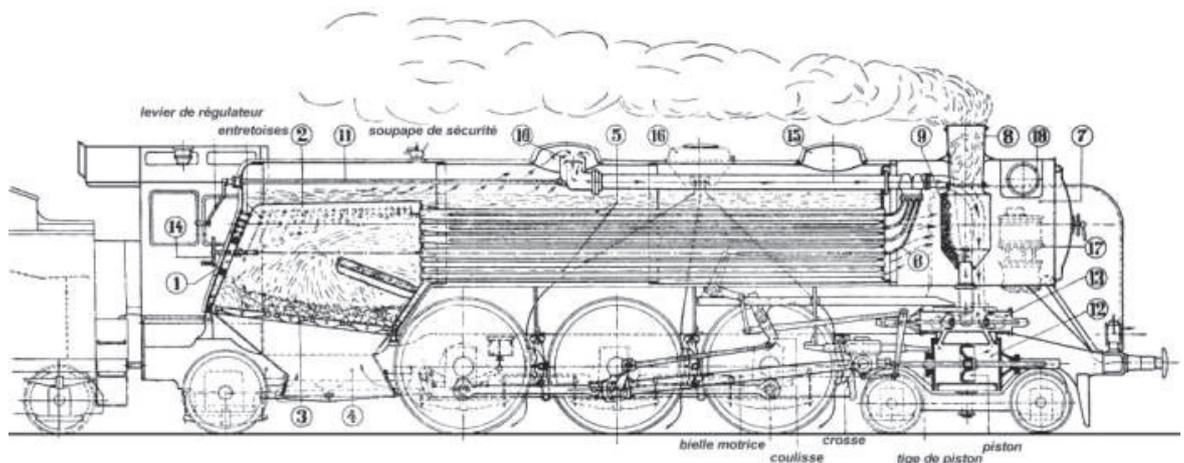


A la fin de la seconde guerre mondiale, seulement 278 machines ont été remises en service. Elle était utilisée pour des trains omnibus. Elle a été construite de 1928 à 1940. La machine a été acquise en 1986 à Constance. Achetée à l'état de ferraille auprès de la Deutsche Bahn, elle a été entièrement remise à neuf, après plus de 7 années de travail, par les membres du CFV3V. Elle est équipée de surchauffe. Elle est en service entre Mariembourg et Treignes depuis 1994. L'ASBL exploite des

machines équipées de surchauffe depuis le début des années 1990.

## 5.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE LOCOMOTIVE À VAPEUR

Le cœur d'une locomotive à vapeur est sa chaudière.<sup>5</sup> Elle utilise le charbon comme énergie. Le combustible brûle sur la grille à l'intérieur du foyer. La carcasse extérieure est entourée d'eau, dont le rôle consiste à absorber la chaleur émise par le feu. L'air nécessaire à la combustion arrive par des extrémités différentes. L'air primaire arrive en dessous de la grille et l'air secondaire arrive au-dessus via la porte du foyer. La vapeur circule dans une tuyauterie qui permet d'obtenir de la vapeur réchauffée. Sa température est d'environ 316 à 376 °C. La vapeur traverse ensuite les soupapes jusqu'aux cylindres. C'est cette mécanique qui va déclencher les barres auxquelles sont reliées les roues. Les gaz chauds sont expulsés et provoquent une vapeur d'échappement des cylindres qui arrive à grande vitesse dans la cheminée.

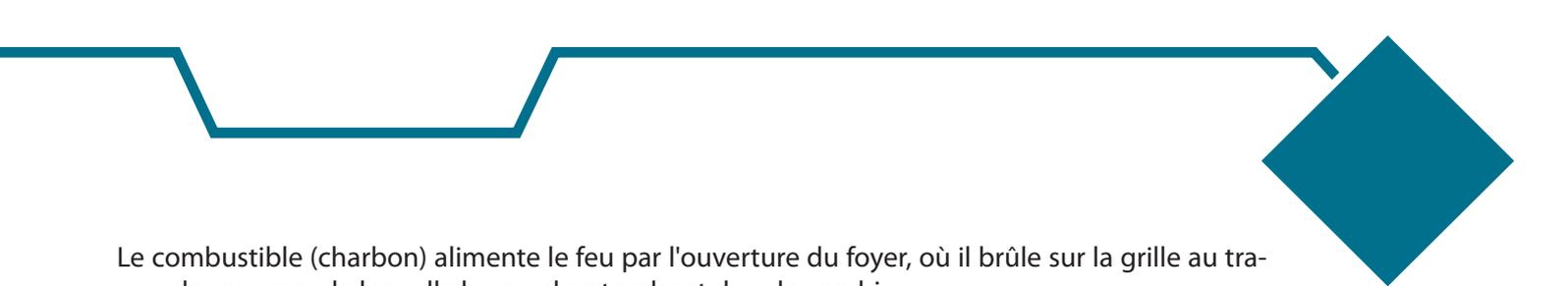


La locomotive se compose de 3 parties principales:

- la chaudière, qui produit la vapeur nécessaire,
- le châssis, qui se compose du cadre et des roues et
- la machine à vapeur qui transforme la vapeur en force motrice.

La chaudière se compose

- de la partie postérieure : se compose du foyer et de la boîte à feu, reliés par des entretoises.
- du corps cylindrique : renferme les tubes bouilleurs et tubes à fumée.
- de la boîte à fumée.



Le combustible (charbon) alimente le feu par l'ouverture du foyer, où il brûle sur la grille au travers des espaces de laquelle les cendres tombent dans le cendrier.

Le cendrier permet, au moyen de clapets, à l'air nécessaire à la combustion d'entrer.

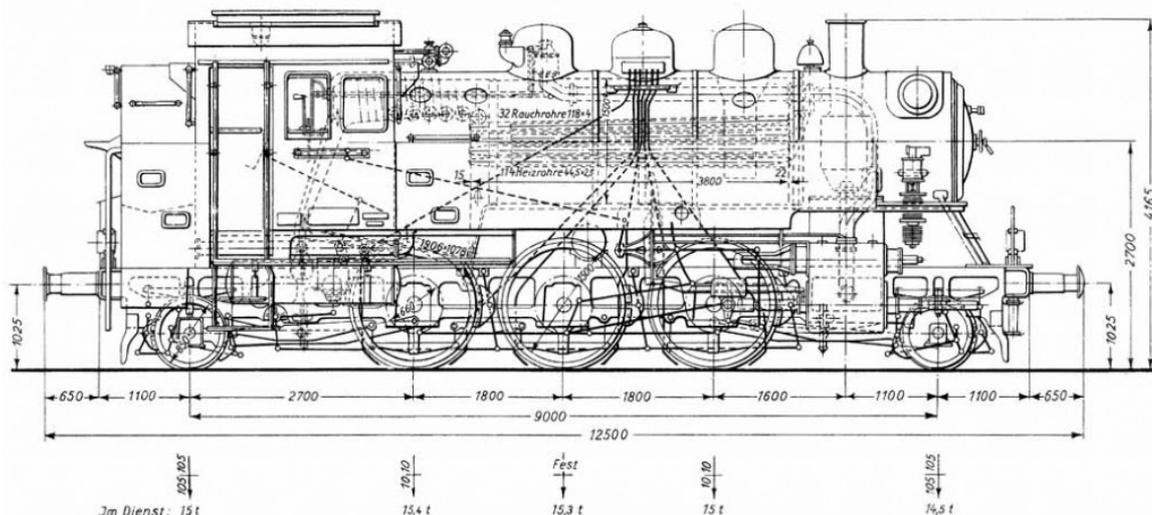
Les gaz résultant de la combustion passent au travers des tubes bouilleurs et tubes à fumée, où ils transmettent leur chaleur à l'eau de la chaudière et arrivent à la boîte à fumée, dans laquelle un pare-escarbilles retient les cendres incandescentes, avant d'être expulsés par la cheminée.

La vapeur formée par l'eau de la chaudière se concentre dans le dôme de vapeur (10), passe par la soupape du régulateur actionnée depuis la cabine de conduite au moyen du levier de régulateur et de son arbre de commande (11) et atteint d'ici le surchauffeur (6), qui se compose de groupes de tubes fins dans les tubes à fumée. La vapeur atteint ici une température d'environ 350 °C et parvient ensuite comme force motrice aux cylindres (12), où elle pousse alternativement les pistons en avant et en arrière. L'arrivée et l'échappement de la vapeur des deux côtés des cylindres est réglée par le tiroir de distribution (13). Le piston est relié à la crosse, qui par l'intermédiaire de la bielle motrice transforme le mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire. Le réglage du tiroir de distribution s'effectue au moyen du volant de commande de la vis de changement de marche (14) qui se trouve dans la cabine de conduite.

Une pompe d'alimentation (17) alimente la chaudière avec la quantité nécessaire d'eau fraîche par le dôme d'alimentation (15), après qu'elle n'ait été portée à environ 100 °C par le réchauffeur d'eau (18).

## 5.4. FONCTIONNEMENT DE LA CHAUDIÈRE DE LA LOCOMOTIVE TYPE 64-250

**Bild 14. 1' C 1' h 2 Personenzug-Tenderlokomotive, Baureihe 64  
(Ausführung mit Krauß-Helmholtz-Lenkgestellen)**



Chaudière (marque et type) : MASCHINENBAU - ANSTALT - HUMBOLDT  
KÖLN - KALK  
 N° de construction : 1891 N° distinctif : \_\_\_\_\_ Année : 1928  
 Timbre : 14 Surface de chauffe : 104,4 + 92 m<sup>2</sup>

La chaudière a été construite en 1928.

A la demande de l'association CFV3V, en août 1994, un rapport est demandé à un organisme indépendant pour vérifier la pression admissible du timbre. Le rapport mentionne que sur base des documents qui ont été communiqués, des calculs ont été réalisés et que le timbre de 14 bar peut être admis pour la chaudière de la locomotive à vapeur de la BR 64-250.

La chaudière de locomotive se compose de trois parties principales<sup>6</sup>:

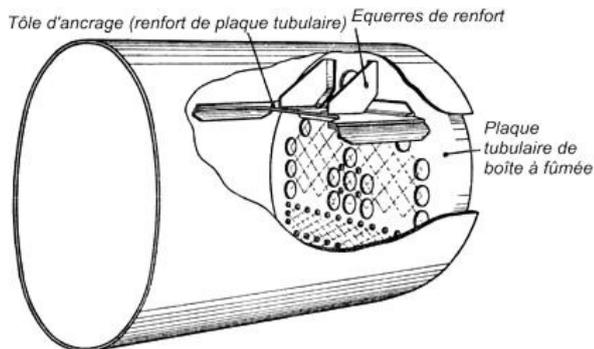
1. la partie postérieure (avec boîte à feu (chaudière verticale) et foyer),
2. le corps cylindrique, appelé aussi chaudière longitudinale, et
3. la boîte à fumée.



Dans le foyer entouré d'eau de toute part, on trouve la grille, sur laquelle brûle en général du charbon réparti depuis une ouverture du foyer. Les gaz de combustion passent par l'action de l'installation de tirage au travers des tubes bouilleurs et à fumée, également entourés d'eau, avant d'atteindre la boîte à fumée et d'être expulsés à l'air libre par la cheminée. La chaleur produite sur la grille transmise en partie par le rayonnement direct des flammes claires aux parois du foyer, pour le reste par les gaz de combustion entrant en contact avec les parois du foyer et des tubes bouilleurs. La chaleur traverse les parois et se transmet à l'eau, la transformant en vapeur.

La boîte à fumée est essentiellement composée de la plaque tubulaire de boîte à fumée, de la paroi de porte et de la porte de boîte à fumée et reliée au corps cylindrique (chaudière longitudinale) par rivure ou soudure.

Dans la boîte à fumée se trouvent la tuyère d'échappement, les tuyaux d'admission de vapeur, le souffleur, le pare-escarbilles (pare-étincelles) et, sur les locomotives surchauffées, le collecteur de surchauffe, réuni sur les locomotives unifiées construites dès 1950 avec le régulateur de vapeur surchauffée.



La transition entre la partie postérieure de la chaudière et le corps cylindrique est assurée par une collerette cylindrique (paroi avant de la boîte à feu). Le corps cylindrique se compose de plusieurs viroles, s'insérant les unes dans les autres (comme un tube télescopique) puis rivées. Elle peuvent aussi être chanfreinées, accolées puis soudées ensemble. L'épaisseur des tôles de chaudières dépend de la pression, de la grandeur et de la matière de la chaudière. Dans le corps cylindrique, on trouve les tubes bouilleurs et à fumée, à l'intérieur desquels les gaz de combustion circulent et dont les parois forment la plus grande partie de la surface de chauffe de la chaudière.

Les tubes sont reliés à la plaque tubulaire du foyer et aboutissent de l'autre côté du corps cylindrique par plaque tubulaire de la boîte à fumée dans la boîte à fumée. Ici, comme du côté foyer, ils sont mandrinés (dudgeonnés) de manière à être parfaitement étanches à la vapeur et à l'eau.

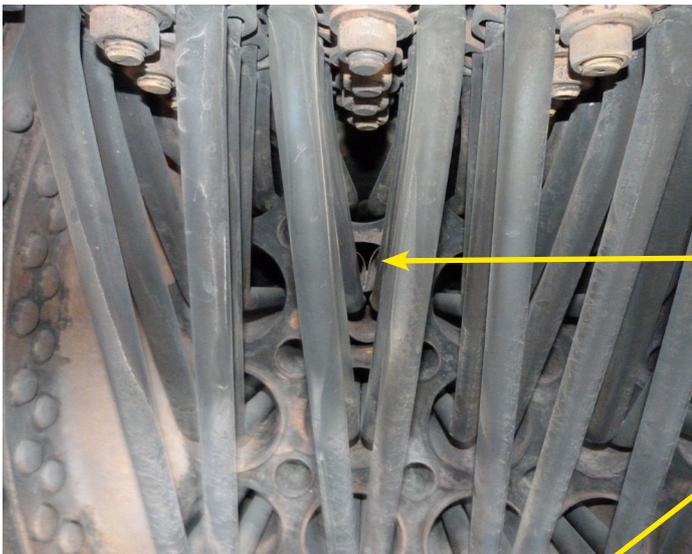
## 6. INSPECTION VISUELLE LORS DU DÉMONTAGE DE LA CHAUDIÈRE



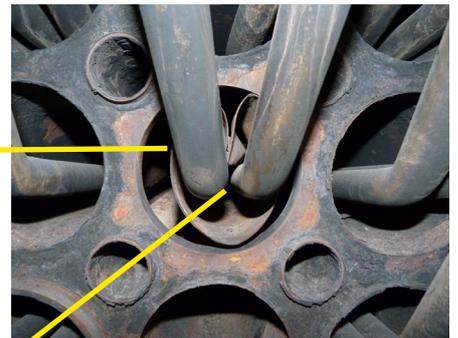
1



2



3



4



5



6



La BR64 a été transférée dans les ateliers de Treignes afin de démonter la surchauffe. Elle a été également entièrement nettoyée à haute pression pour permettre une meilleure visibilité lors du démontage du tube à proprement parler.

Lors du démontage, il a été constaté qu'un des tubes à fumée avait *implosé*, s'écrasant sur lui-même (photos 4, 5 et 6). En conséquence, la jonction, par sertissage, entre le tube à fumée et la paroi n'était plus étanche à la vapeur d'eau et une importante partie de la vapeur d'eau sous pression s'est retrouvée dans le foyer et s'est retrouvée, via la porte du foyer, dans le poste de conduite.

Le début de l'écrasement du tube trouve son origine au droit du sertissage : il est probable que le mandrinage ait affaibli la partie sertie dans la tôle tubulaire.

Le phénomène observé dans le cadre de l'accident était méconnu par l'association : selon le témoignage de CFV3V, ce phénomène ne s'était jamais produit.

Auparavant, il est déjà arrivé que les petits tubes "suintent" et donnent ainsi un signe de faiblesse : ils sont alors remplacés soit au cas par cas, soit systématiquement tous les 7 à 12 ans en fonction de la cadence d'utilisation.

## 7. ANALYSE DES ENTRETIENS DE LA PARTIE VAPEUR DE LA LOCOMOTIVE

Conformément à l'arrêté royal du 8 mai 2014 fixant les dispositions de sécurité relatives au matériel des lignes ferroviaires musées, le matériel doit être entretenu afin d'en garantir le fonctionnement correct et en toute sécurité.

L'exploitant de la ligne ferroviaire musée établit un plan d'entretien et s'assure de son exécution effective. Il inscrit les travaux réalisés dans un registre, consultable lors des contrôles et il apporte, si nécessaire, des modifications au plan d'entretien.

Tous les deux ans, l'expert matériel rédige un rapport concernant la réalisation du plan d'entretien et il le transmet à l'exploitant de la ligne ferroviaire musée et à l'autorité de sécurité.

### 7.1. RÈGLES DE L'ENTREPRISE FERROVIAIRE

Outre les contrôles réalisés en "interne", un contrôle par un organisme agréé a lieu régulièrement:

- annuellement une visite intérieure à froid;
- annuellement une visite extérieure à chaud;
- tous les 5 ans une épreuve hydraulique complète.

Les équipements de frein et les organes de sécurité, en dehors du contrôle journalier, seront mesurés et les valeurs seront consignées au moins une fois tous les ans dans les fiches d'entretien. Une fiche d'entretien est disponible pour la BR 64-250 depuis le 13/09/1996.

#### 7.1.1. RAPPORTS DE VISITE INTÉRIEURE

La dernière visite intérieure a été réalisée par un organisme de contrôle agréé (AIB Vinçotte) en mars 2016, la prochaine visite devra être réalisée avant le 4 mars 2017.

La conclusion du rapport indique que l'appareil peut être remis en service à la pression du timbre de 14 bar.

Il a cependant été constaté que :

- à l'assemblage de la plaque tubulaire avec la virole, une dizaine de rivets sont corrodés et ont été soudés à l'arc électrique;
- des dépôts de carbonate de 0.5 à 1.5 mm sont visibles sur les tubes vu à distance;
- une érosion-corrosion des tirants de ciel existe et est à surveiller;
- le nettoyage des tubes et la plaque tubulaire n'est pas satisfaisant.



Photo après démontage

## 7.1.2. RAPPORT DE VISITE EXTÉRIEURE

La dernière visite réalisée par un organisme de contrôle agréé a eu lieu en septembre 2015, la prochaine visite devait être réalisée avant le 31/12/2016.

La conclusion du rapport indique que l'appareil était équipé de tous les dispositifs de sécurité réglementaires et que le contrôle du fonctionnement a donné satisfaction.

L'examen portait notamment sur les parties visibles et/ou accessibles des chambres d'eau et de vapeur.

La boîte à fumée avant a été présentée ouverte, pas d'inétanchéité constatée. Les soupapes ont été tarées par essai direct ouverte à 13 bar.

## 7.1.3. EPREUVE HYDRAULIQUE

Les dernières épreuves hydrauliques ont été réalisées :

- en mai 2006 et juillet 2006;
- décembre 2010;
- août 2011 : épreuve hydraulique satisfaisante à 20 bar après remplacement d'un tube;
- septembre 2014 : épreuve hydraulique satisfaisante à 20 bar après réparation de tirant entretoise.

Les épreuves hydrauliques sont réalisées avec une fréquence de moins de 5 ans.

Les gros tubes diamètre 114 x 4 mm sont soumis aux mêmes règles de contrôle que les petits tubes lors des épreuves hydrauliques, à savoir une pression d'eau égale à la pression de service multipliée par 1,42 ( $14 \times 1.42 = \sim 20$  bars dans le cas présent ).

## 7.1.4. RÉPARATIONS ET ENTRETIENS



Les réparations et entretiens sont consignés dans la fiche d'entretien informatisée. Une version imprimée a été fournie à l'OE .

Des fuites ont été constatées dans un des gros tubes de la chaudière en mai 2012 et a été remplacé dans la quinzaine. Des réparations et un retubage de 6 gros tubes ont été réalisés en août 2013.

Il a été constaté que certaines épreuves hydrauliques mentionnées dans le registre de la chaudière ne sont pas répertoriées dans la fiche d'entretien informatisée de l'Association.

Divers tubes ont été commandés et livrés en 2011 dont les références sont données ci-après :

S10216-1 , P235TR2 133X 4 à bouts lisses noir non huilé en longueurs de 10 à 14 mètres

Le diamètre est le même que celui renseigné sur la fiche technique fournie par CFV3V.

Baureihe	Dim	064	065	078
Rauart	mm	44,5×2,5	44,5×2,5	154
Anzahl der Rauchrohre	–	32	46	44,5×2,5
Rauchrohr-Ø	mm	118×4	118×4	24
Rostfläche	m <sup>2</sup>	2,04/2,06	2,67	133×4
Strahlungsheizfläche	m <sup>2</sup>	8,70	14,80	2,35
Rauchrohrheizfläche	m <sup>2</sup>	13,00	13,00	13,00

Les tolérances concernant le diamètre et l'épaisseur des tubes ont été fournies par le fournisseur.

#### 8.7.4 Tolerances

##### 8.7.4.1 Tolerances on diameter and thickness

The diameter and the wall thickness of the tubes shall be within the tolerance limits given in Table 8.

Out-of-roundness is included in the tolerances on outside diameter and eccentricity is included in the tolerances on wall thickness.

Table 8 — Tolerances on outside diameter and on wall thickness

Outside diameter <i>D</i> mm	Tolerances on <i>D</i>	Tolerances on <i>T</i> for a <i>T/D</i> ratio			
		≤ 0,025	> 0,025 ≤ 0,050	> 0,050 ≤ 0,10	> 0,10
<i>D</i> ≤ 219,1	± 1% or ± 0,5 mm whichever is the greater	± 12,5 % or ± 0,4 mm whichever is the greater			
<i>D</i> > 219,1		± 20 %	± 15 %	± 12,5 %	± 10 % <sup>a</sup>

<sup>a</sup> For outside diameters *D* ≥ 355,6 mm it is permitted to exceed the upper wall thickness locally by a further 5 % of the wall thickness *T*.

Table 5 — Mechanical properties for quality TR2<sup>a</sup>

Steel grade		Tensile properties						Impact properties		
Steel name	Steel number	Upper yield strength <i>R<sub>eh</sub></i> <sup>b</sup> min. for Wall Thickness <i>T</i> mm			Tensile Strength <i>R<sub>m</sub></i>	Elongation <i>A</i> min. %		Minimum average absorbed energy KV <sub>2</sub> J at a temperature of °C <sup>c</sup>		
		<i>T</i> ≤ 16	16 < <i>T</i> ≤ 40	40 < <i>T</i> ≤ 60		<sup>b,c</sup>		at a temperature of °C <sup>c</sup>		
		MPa <sup>*</sup>	MPa <sup>*</sup>	MPa <sup>*</sup>	MPa <sup>*</sup>	<i>l</i>	<i>t</i>	0	-10	0
P195TR2	1.0108	195	185	175	320 to 440	27	25	40	28 <sup>d</sup>	27
P235TR2	1.0255	235	225	215	360 to 500	25	23	40	28 <sup>d</sup>	27
P265TR2	1.0259	265	255	245	410 to 570	21	19	40	28 <sup>d</sup>	27

<sup>a</sup> For wall thickness greater than 60 mm the mechanical properties are subject to agreement.  
<sup>b</sup> See 11.2.  
<sup>c</sup> *l* = longitudinal *t* = transverse  
<sup>d</sup> **Option 4:** In addition to the test in Table 11, longitudinal impact strength shall be verified at -10 °C.  
<sup>\*</sup> 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>

Cependant, il n'est pas possible de déterminer quel tube a été monté sur le matériel : la traçabilité n'est pas totalement assurée lors du remplacement des tubes.

## 7.1.5. QUALITÉ DE L'EAU UTILISÉE

L'eau utilisée par CFV3V est de l'eau prélevée dans la rivière disponible à proximité, l'Eau Noire. L'Eau Noire est une rivière ardennaise aux eaux calcaires et rapides.

Selon le site biodiversité Wallonie<sup>7</sup>, l'Eau Noire est de bonne qualité. Selon l'association la qualité de l'eau varie en fonction des saisons et des crues. Elle comporte peu de boue et décante dans un château d'eau dont la cuve est en béton. Ceci donne l'avantage de désoxygéner l'eau avant d'être injectée dans la chaudière. Les boues résiduelles sont extraites par purge lors du service ou lavage Haute Pression consigné dans les carnets d'entretien de l'association.

L'eau utilisée par CFV3V n'est donc pas de l'eau distillée.

Afin de remédier au problème de corrosion causé par l'oxygène de l'eau, l'ASBL a consulté à plusieurs reprises, diverses sociétés de traitement.

Malheureusement, une société de traitement de l'eau demande environ 50.000€/an pour traiter l'eau, ce qui est un budget inabordable pour l'association.

Actuellement, l'association est en contact avec une société de traitement de l'eau qui propose de travailler sur la corrosion avec **L'OXILITE 101** à un dosage continu en se fixant un résiduel de sulfite de 50ppm en chaudière.

C'est un produit apportant des sulfites (réducteur d'oxygène) empêchant la corrosion par oxydation.

La société demande :

- de vérifier le résiduel sulfite à chaque purge de la chaudière et augmenter la quantité de produit si le résiduel est nul en phase de fonctionnement des locomotives.
- d'effectuer un choc d'OXILITE 101 avant chaque arrêt prolongé de la locomotive si cette dernière n'est pas vidée et asséchée et de contrôler le résiduel de sulfite avant son redémarrage. Si le résiduel est nul, augmenter la quantité du produit lors du choc.

La quantité de produit à injecter pour le choc dépendra du temps d'arrêt qui suit et sera à effectuer pendant la marche de la chaudière pour que l'eau traitée de la réserve soit utilisée lors du fonctionnement de la chaudière.

Le produit n'a pas encore été mis en œuvre pour des raisons de sécurité. Le produit demande des précautions particulières lors de sa manipulation.

C'est un produit corrosif qui peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. Une étude de faisabilité est en cours pour doser automatiquement le produit lors du remplissage, sans avoir à le manipuler manuellement. Ce principe devrait amoindrir les effets néfastes de l'oxydation et augmenter la longévité des faisceaux tubulaires.

## 8. INSPECTION ET CONTRÔLES DU SSICF

### 8.1. CONCERNANT LE MATERIEL ROULANT

Les contrôles sont réalisés sur base de l'AR du 8 mai 2014 fixant les dispositions de sécurité relatives au matériel des lignes ferroviaires musées et le référentiel matériel introduit au SSICF par l'association.

Un rapport est envoyé avec les divers constats. Les constats sont classifiés en fonction de l'importance de l'irrégularité.

Les irrégularités du niveau 1 ne nécessitent pas une réponse. Elles sont communiquées **pour information** afin de vous permettre de prendre les mesures qui s'imposent dans le cadre de votre système de gestion de la sécurité.

Les irrégularités du niveau 2 doivent faire l'objet d'un **examen** de votre part et nécessitent la mise en œuvre de mesures correctives nécessaires. La date limite à laquelle le SSICF attend votre réponse est reprise dans la colonne « date d'échéance ».

Les irrégularités du niveau 3 ne nécessitent pas de réponse. Elles ont fait l'objet d'une infraction **pour prise de mesures immédiates** et vous sont communiquées pour information afin de vous permettre de prendre les mesures qui s'imposent dans le cadre de votre système de gestion de la sécurité.

Les derniers contrôles des divers matériels roulants ont été réalisés par le SSICF dans les installations de Mariembourg en septembre 2015.

Les mesures ont été prises par l'association pour répondre aux constats effectués par le SSICF.

### 8.2. CONCERNANT L'INFRASTRUCTURE

Les agents du SSICF se rendent annuellement sur le site pour l'inspection et le contrôle des PN avec des experts ferroviaires.

Ils réalisent le suivi des actions correctives devant être réalisées. Les actions correctives sont classifiées en fonction du niveau des irrégularités et des délais pour réaliser les actions.

Le dernier contrôle a été réalisé en avril 2016 par des experts d'Infrabel en présence des représentants du SSICF.

### 8.3. INSPECTION ET CONTRÔLE DU SSICF CONCERNANT LES RÈGLES D'EXPLOITATION LORS DU FESTIVAL

Un contrôle a été réalisé le premier jour du festival par le SSICF pour vérifier la mise en application des règles d'exploitation et plus précisément les règles concernant les croisements des trains, suite à l'obtention récente d'une autorisation révisée : le croisement à Balgerhoeke avait été autorisé suite à l'examen de la révision des autorisations d'exploitation.

## 9. CAUSES

### 9.1. CAUSES DIRECTES

Implosion du tube permettant à une partie de la vapeur d'eau sous pression de se retrouver dans le foyer de la chaudière et, via la porte du foyer, dans le poste de conduite.

La locomotive BR64 va subir un remplacement complet de ses tubes, ainsi qu'une épreuve hydraulique par un organisme agréé.

Le remplacement des tubes (petits et gros diamètres) sera consigné sur un plan représentant la tôle tubulaire.

Les tubes de gros diamètre seront systématiquement remplacés tous les 20 ans.

### 9.2. CAUSES INDIRECTES

L'implosion du tube est probablement due à l'affaiblissement de la partie sertie dans la tôle tubulaire lors du mandrinage en conjonction avec la corrosion du tube.

Une étude de faisabilité est en cours pour doser automatiquement le produit de traitement de l'eau utilisée dans la chaudière lors du remplissage, sans avoir à le manipuler manuellement. Ce principe devrait amoindrir les effets néfastes de l'oxydation et augmenter la longévité des faisceaux tubulaires.

**Nous recommandons aux exploitants de ligne ferroviaire musée d'évaluer et de prendre des mesures, si nécessaire, pour limiter l'impact de l'eau utilisée.**

### 9.3. CAUSES SOUS JACENTES

L'inspection visuelle des tubes à distance ne permet pas de détecter l'affaiblissement de la partie sertie.

Le risque d'implosion n'étant pas identifié par l'entreprise, l'inspection ayant pour but de détecter ce type de dégradation éventuelle n'a pas permis de découvrir un signe d'affaiblissement.

Toutes les locomotives équipées de surchauffe ont également subi une inspection visuelle approfondie avec une recherche de signe d'affaiblissement conformément au risque maintenant détecté.

Les autres locomotives ont ou feront l'objet d'un rapport contradictoire AIB : elles ont été retirées du service jusqu'à nouvelle autorisation.

Organisme d'Enquête sur les Accidents et Incidents Ferroviaires

<http://www.mobilit.belgium.be>

