

**RAPPORT
D'ENQUÊTE TECHNIQUE**
sur l'incendie
d'un train de travaux usine
à Saint-Hilaire-Bonneval (87)
le 28 mai 2021

Mars 2024

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 et R. 1621-1 à 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Le **glossaire** se trouve en fin de rapport

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT)

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'incendie d'un train de travaux usine à Saint-Hilaire-Bonneval (87) le 28 mai 2021

N° ISRN : EQ-BEAT—24-2--FR
Affaire n° BEATT-2021-04

Proposition de mots-clés : train de travaux, incendie, détection incendie, freinage, formation

1 - Synthèse

Le vendredi 28 mai 2021, le train Enorail était en acheminement entre la base travaux de Brive-la-Gaillarde et celle de Limoges, avant d'intégrer une formation de travail vers un chantier de renouvellement voie et ballast près de Limoges. Il circulait sous certificat du Gestionnaire de l'Infrastructure (GI).

Au passage de la gare de Pierre-Buffière, l'agent circulation a détecté que le train circulait avec plusieurs essieux générant des gerbes d'étincelles et un dégagement de fumée noire. Alerté, le régulateur transport a prévenu le conducteur de train et requis son arrêt. Le train s'est immobilisé de part et d'autre d'un passage à niveau. Quelques minutes après son immobilisation, le feu qui s'était déclaré a brusquement redoublé d'intensité pour donner naissance à un incendie. Celui-ci s'est propagé aux véhicules encadrants. L'intervention rapide, efficace et ciblée des pompiers a permis de contenir l'incendie et de l'éteindre en évitant sa propagation aux véhicules contenant de grandes quantités de combustible.

Il n'y a pas eu de blessé lors de cet événement. Cet incendie aurait pu avoir des conséquences plus graves si un train croiseur était survenu ou si le train s'était arrêté dans un tunnel ou dans une gare d'importance. L'exploitation des trains a repris dès le lendemain après évacuation du train et remise en état temporaire de la voie.

L'incendie a induit des dégâts et préjudices importants tant pour le propriétaire du train que pour les autres acteurs (deux véhicules calcinés, perte de production, etc.).

L'enquête a pu établir que la cause de l'incendie est la mise à feu d'un matériau inflammable présent à proximité des roues et du système de freinage, consécutive à un échauffement excessif des organes de freinage d'un bogie et la projection de particules en fusion. Cette concomitance a créé les conditions d'une prise de feu, fruit de plusieurs facteurs contributifs :

- un desserrage incomplet (défaut latent) du système de freinage avant le départ du train de Brive-la-Gaillarde non détecté par les essais de frein et par la surveillance des trains en marche ;
- un freinage prolongé en modérabilité avec des semelles composites ayant conduit à l'inflammation de matériaux présents dans l'environnement d'un bogie.

Le BEA-TT émet des recommandations sur les thèmes suivants :

1. la révision des processus de conception des trains de travaux usine (insécable comportant plusieurs véhicules) ;
2. la détermination des éléments complémentaires de nature à faciliter les essais avant mise en marche et l'instrumentation des futurs trains de travaux usine ;
3. la révision du cadre réglementaire des trains de travaux usine ;
4. la révision des référentiels métiers des conducteurs et la définition de la mise en œuvre d'une formation complémentaire aux conducteurs de train de travaux usine ;
5. l'extension du champ des informations enregistrées sur les paramètres de commande de freinage des trains de travaux usine ;
6. la révision des conditions de maintien en condition opérationnelle des détecteurs de freins serrés.

SUMMARY (english version)

On Friday 28 May 2021, the Enorail train was en route from the Brive-la-Gaillarde rear work base to the Limoges rear work base, before joining a work formation at a track renewal site near Limoges. It was running under the Infrastructure Manager's (IM) certificate.

As the track-renewal train passed through Pierre-Buffière station, the traffic officer noticed that it was travelling with several axles, generating sparks and black smoke. Alerted, the transport dispatcher alerted the train driver and requested that the train be stopped. The train came to a halt on either side of a level crossing. A few minutes after coming to a halt, the fire that had broken out suddenly increased in intensity, giving rise to a blaze. The fire spread to the surrounding vehicles. The fire brigade's rapid, effective and targeted response contained the fire and extinguished it, preventing it from spreading to the vehicles containing large quantities of fuel.

There were no injuries as a result of this incident. The fire could have had more serious consequences if a crossover train had been involved, or if the train had stopped in a tunnel or at a major station. Train operations resumed the next day after the train had been evacuated and the track temporarily repaired.

The fire caused significant damage and loss for both the train owner and the other parties involved (two burnt-out vehicles, loss of production, etc.).

The investigation established that the cause of the fire was the ignition of flammable material in the vicinity of the wheels and braking system, following excessive heating of the braking components of a bogie and fusion particle projection. This concomitance created the conditions for the fire to take hold, the result of several contributing factors:

- Incomplete release (latent defect) of the SVB section braking system before the departure of the train from Brive-la-Gaillarde, undetected by the brake tests and by the monitoring system of trains in motion;
- Prolonged braking in moderability with composite brake shoes, which led to the ignition of materials present in the environment of a bogie.

The BEA-TT issues recommendations on the following topics:

1. Revision of the design processes for "factory work trains" (unbreakable work train section with several vehicles);
2. Identifying additional elements to facilitate pre-start-up testing and instrumentation of future factory work trains;
3. Revision of the regulatory framework for factory work trains;
4. Revision of driver job descriptions and definition of the implementation of additional training for factory work train drivers;
5. Extending the scope of information recorded on braking control parameters for factory work trains;
6. A review of the conditions for maintaining brake application detection systems in operational condition.

SOMMAIRE

1 - SYNTHÈSE	1
SUMMARY (ENGLISH VERSION)	2
2 - L'ENQUÊTE ET SON CONTEXTE	5
2.1 - Les circonstances de l'accident.....	5
2.2 - Le bilan de l'accident.....	7
2.3 - L'engagement de l'enquête.....	7
3 - LA DESCRIPTION DU FAIT SURVENU	8
3.1 - Le contexte de l'accident.....	8
3.1.1 - Les entreprises impliquées.....	8
3.1.2 - Les acteurs impliqués dans la circulation du train.....	9
3.1.3 - Les acteurs impliqués dans le processus d'autorisation du train.....	10
3.1.4 - Le site de l'accident.....	10
3.1.5 - Le chantier de renouvellement des voies.....	12
3.1.6 - Le train Enorail.....	12
3.1.7 - L'élément SVB800.....	15
3.1.8 - Les opérations pour la mise en mode acheminement du SVB800.....	24
3.1.9 - Utilisation du frein en pente.....	27
3.1.10 - La surveillance des trains en marche.....	28
3.1.11 - La météorologie.....	29
3.2 - Description factuelle des évènements.....	30
3.2.1 - Les résumés des témoignages.....	30
3.2.2 - Le dépouillement des enregistrements des paramètres de conduite.....	34
3.2.3 - Les dommages au train accidenté.....	39
3.2.4 - Les dommages à l'infrastructure.....	46
4 - L'ANALYSE DU FAIT SURVENU	47
4.1 - Les facteurs causaux de l'incendie.....	47
4.1.1 - L'équipement particulier des bogies du SVB800 et le départ de feu.....	47
4.1.2 - Les facteurs qui ont créé les conditions d'un possible départ de feu.....	50
4.1.3 - Les facteurs qui ont créé le départ de feu.....	54
4.1.4 - Les facteurs qui ont permis la propagation de l'incendie.....	57
4.1.5 - Les facteurs qui ont limité l'extension de l'incendie.....	59
4.1.6 - Les facteurs organisationnels et humains contributifs.....	59
4.1.7 - Les mécanismes de retour d'expérience et de contrôle.....	61
4.2 - Synthèse de l'enchaînement des évènements.....	63
5 - LES CONCLUSIONS	66

5.1 - L'arbre des causes.....	66
5.2 - Les causes de l'incendie.....	67
5.3 - Les mesures prises depuis l'accident.....	67
6 - LES RECOMMANDATIONS.....	68
6.1 - Mise en place d'espace coupe-feu autour des sources de feu.....	68
6.2 - Instrumentation des trains de travaux usine pour faciliter leurs opérations de préparation et pour prévenir en acheminement d'éventuelles prises de feu.....	68
6.3 - Amélioration de la prise en compte du « risque feu » dans le processus d'autorisation des trains de travaux usine.....	70
6.4 - Formation spécifique des conducteurs assurant des trains de travaux usine.....	70
6.5 - Amélioration du niveau de performance des enregistreurs ATESS.....	71
6.6 - Augmentation du niveau de disponibilité opérationnelle des installations de DFS.....	71
6.7 - Réduction des risques associés aux trajets d'acheminement des trains de travaux.....	72
6.8 - Information rapide des pompiers devant intervenir sur l'incendie d'un train usine.....	72
CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS (VERSION ANGLAISE).....	73
ANNEXES.....	76
Annexe 1 – Décision d'ouverture d'enquête.....	77
Annexe 2 – Procédure d'autorisation de mise sur le marché.....	78
Annexe 3 – Considérations techniques relatives au freinage.....	80
Annexe 4 – Considérations relatives aux enregistrements ATESS.....	82
Annexe 5 – État des semelles de freins du SVB800.....	83
Annexe 6 – Expérience suisse quant au freinage en dents de scie.....	85
Glossaire.....	86
Règlement général de protection des données.....	87

2 - L'enquête et son contexte

2.1 - Les circonstances de l'accident

Le vendredi 28 mai 2021 avant 21 h 30, le train de substitution voie-ballast Enorail était en acheminement entre les bases travaux de Brive-Estavel et de Limoges-Bénédictins, avant d'intégrer une formation de chantier. Ce train intervenait pour des travaux de renouvellement de double voie au sud de Limoges. Le train Enorail circulait en acheminement sous le numéro de marche n° 814 538 attribué sous l'agrément du gestionnaire d'infrastructure SNCF Réseau.

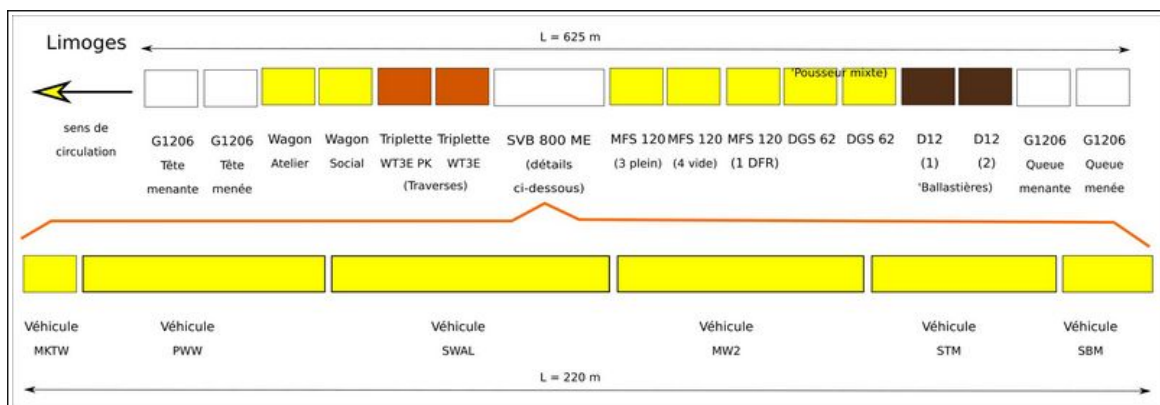


Figure 1 : Description simplifiée du train Enorail (BEA-TT)

Au passage de la gare de Pierre-Buffière, l'agent circulation sur place a vu que le train circulait avec les essieux d'un bogie générant des gerbes d'étincelles. Le régulateur transport alerté a prévenu le conducteur du train et requis l'arrêt de sa circulation. Le train s'est immobilisé en chevauchant le passage à niveau (PN) 242. À l'arrêt, il est apparu aux deux conducteurs présents, l'un en tête et l'autre en queue, qu'une source de la colonne de fumée noire provenait du milieu du train. Quelques minutes après l'immobilisation du train, le feu a redoublé d'intensité pour donner naissance à un important incendie. Le feu a rapidement atteint la caténaire pour la sectionner et, enfin, se propager aux véhicules encadrants par l'embrasement des tapis de convoyage.



Figure 2 : Plan de situation du lieu de l'incendie (Source Geoportail modifiée par le BEA-TT)

Le PN 242 est situé sur la commune de Saint-Hilaire-Bonneval (Haute-Vienne) au lieu-dit « *Le petit bonne* », au Pk 418,873 de la ligne Paris-Toulouse. L'incendie a rapidement pris des proportions importantes. Les fumées étaient visibles à plus de vingt kilomètres.

Une quarantaine de pompiers sont très rapidement arrivés sur place, venus des casernes de Pierre-Bufferière, Magnac-Bourg et Limoges. Les pompiers ont combattu le feu pendant près de 5 heures, notamment autour du point chaud situé au centre du train et des différents réservoirs de gazole et d'huile. L'action ciblée des pompiers a permis de limiter la propagation du feu tant au niveau du train que de son environnement.



Figure 3 : Train incendié – Protection du réservoir de Gazole du véhicule STM
(Source sdis87 modifiée BEA-TT)



Figure 4 : Train incendié - Cœur de l'incendie (Source sdis87 modifiée BEA-TT)

L'incendie aurait pu avoir des conséquences bien plus graves si un croisement de train était survenu, si le train s'était arrêté au niveau d'un ouvrage d'art comme un tunnel ou un viaduc, ou si les pompiers n'avaient pu intervenir aussi efficacement.

Vers 2 h 30, le samedi matin le feu a été éteint. La rame a pu être sécurisée et évacuée jusqu'à la base chantier de Limoges. L'exploitation des trains a pu reprendre dès le lendemain 29 mai 2021 dans l'après-midi, d'abord sous le régime de la voie unique temporaire, puis sous celui de la double voie sous contrainte du franchissement d'une

brèche caténaire de plusieurs centaines de mètres. Le service normal a été rétabli après une semaine en utilisant un renouvellement partiel de la voie et une remise en état provisoire de la caténaire.

Trois véhicules de l'élément SVB800 ont été totalement ou partiellement calcinés, rendant le train totalement inutilisable et inapte à la circulation sur le réseau ferré.

2.2 - Le bilan de l'accident

Le bilan de l'incendie est purement matériel. Il n'a occasionné aucune blessure physique des agents de conduite du train, seules personnes à bord. Les équipements à la voie sous le train ont été détruits, ainsi que la caténaire. La voie ballastée a été polluée par les résidus de combustion requérant son remplacement intégral. Les rails ont été soumis à des élévations de température sur plus d'une centaine de mètres, les rendant non réutilisables ultérieurement. Les abords immédiats ont été légèrement calcinés, sans engagement d'habitation.

2.3 - L'engagement de l'enquête

Vu les circonstances de cet accident et sa gravité, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 1^{er} juin 2021 une enquête technique en application des articles L. 1621-1 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 du Code des transports.

L'enquête vise à identifier les causes et circonstances de l'accident afin d'établir des recommandations. Le montant des dommages de l'accident a en effet été évalué en analyse immédiate par le BEA-TT comme supérieur à 50 M€ hors pertes d'exploitation

Les enquêteurs du BEA-TT ont contacté les autorités de gendarmerie en charge de l'enquête de flagrance. Celle-ci n'a pas donné lieu à poursuites. Les enquêteurs se sont rendus sur place et ont rencontré les représentants du gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire (GI), ainsi que les représentants des entreprises intéressées. Ils ont interviewé les personnels et les conducteurs directement impliqués dans l'évènement. Ils ont pu librement disposer de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à leur enquête et disposé de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à leurs analyses.

Deux procédures en justice au Tribunal de Commerce de Limoges ont été initiées à la demande des parties impliquées dans la conception et l'exploitation du train. Une expertise de justice (ordonnance du Tribunal de Commerce de Limoges du 7 janvier 2022 N° : 2021 003-410/1) a été requise et le BEA-TT a pu bénéficier de ces travaux.

3 - La description du fait survenu

3.1 - Le contexte de l'accident

3.1.1 - Les entreprises impliquées

Plusieurs entreprises collaborent dans l'organisation du chantier et la réalisation des travaux de renouvellement de voie (**figure 5**) :

- **SNCF Réseau**, commanditaire des travaux, délivre les sillons, attribués sous son agrément du Gestionnaire d'Infrastructure (GI), nécessaires pour les acheminements des trains de travaux. SNCF Réseau est aussi le DeBo/AsBo* qui a validé la conformité du train de remplacement dit SVB800 aux exigences applicables sur le RFN. SNCF Réseau fournit l'engin de manœuvre pour la formation du train et la réalisation de l'essai de frein complet ;
- **Plasser & Theurer – Framaferr** : respectivement le constructeur autrichien du train Enorail et son représentant exclusif en France. La vente du train de remplacement dit SVB800 a été contractualisée entre Plasser & Theurer et Enorail. Framaferr assure le service après vente lors de la montée en performance du train et la formation des acteurs ;
- **Enorail** est un groupement d'intérêt économique entre ETF et Eiffage Rail qui a acquis le SVB800 auprès de Plasser & Theurer¹. Enorail est propriétaire du SVB800 ;
- **ETF et Eiffage Rail**², avec VFLI, ETF Services et Sféris, sont membres du groupement momentané d'entreprises de travaux pour la réalisation du chantier de RVB confié par SNCF Réseau. Le groupement de travaux loue le SVB800 à Enorail. **Eiffage Rail** est l'Entité en Charge de l'Entretien du SVB800 ;
- **ETF Services** : réalise des annonces humaines des circulations, la surveillance des passages à niveau et la conduite des trains de travaux. Les conducteurs du train le jour de l'incendie étaient de la société ETF Services ;
ETF Services assure les manœuvres des trains de travaux en base arrière pour les opérations de formation du train de travaux (met à disposition de la main d'œuvre qualifiée pour les opérations de formation du train de travaux et assure la reconnaissance de l'aptitude au transport (RAT) ;
- **SFERIS** : réalise des prestations réglementaires de protections des chantiers et trains des travaux, les annonces humaines des circulations ;
- **MeccoliElec** réalise les tâches requérant des agents du service électrique signalisation et énergie ;
- **ETF Cat** réalise les tâches afférentes aux lignes de traction électriques (caténaire) ;
- **VFLI** (Captrain), **Delcourt-rail** et **ETF** fournissent les engins de traction G1206 du train incendié.

* Voir le glossaire en fin de rapport

1 Le SVB800 est propriété d'Enorail – Il avait franchi la première des trois étapes de réception, 50 % du niveau de performance cible.

2 Le mandataire

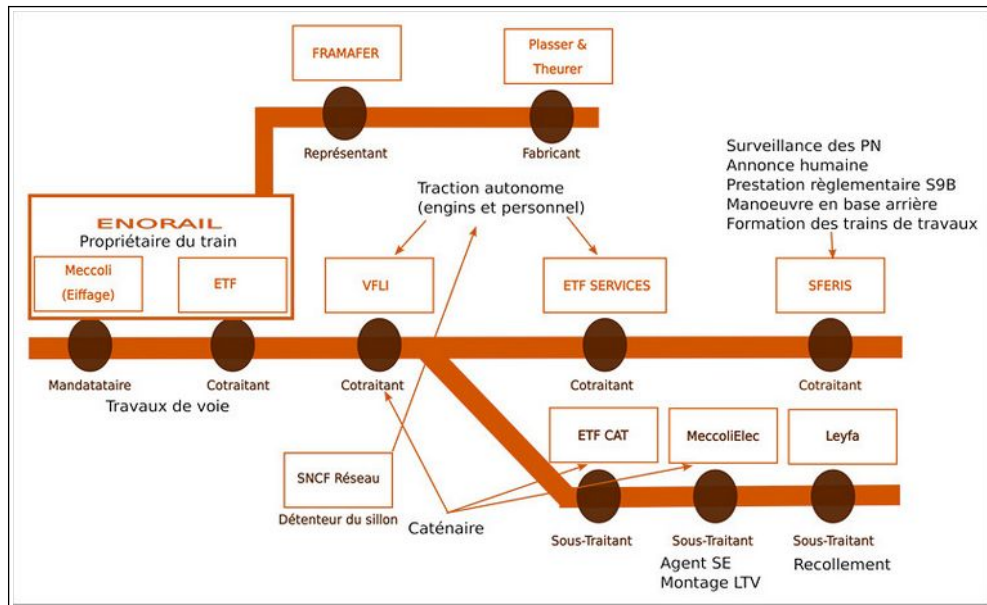


Figure 5 : Synoptique des entreprises sur chantier de renouvellement de voie (BEA-TT)

3.1.2 - Les acteurs impliqués dans la circulation du train³

Le train a circulé sous l'agrément du GI SNCF Réseau avec le n° 814 538 qui fournit le service de transport comprenant notamment les opérations suivantes :

- la réalisation de l'étude de compatibilité avec l'itinéraire (ECI) de Brive-la-Gaillarde à Limoges afin d'identifier d'éventuelles restrictions d'usage et autoriser, en complément de l'autorisation de mise sur le marché (AMM) la circulation du train usine sur la ligne ;
- la réalisation de la formation du train avec un engin moteur SNCF Réseau, des essais statiques de frein ;
- la conduite entre la base de Brive-Estavel et la zone de chantier est sous traitée à l'entreprise ETF Services ;
- les engins moteurs encadrant le train Enorail sont fournis par les entreprises VFLI, ETF et Delcourt.

Le propriétaire du train est le GIE Enorail. Ce groupement d'entreprises (GIE) est à distinguer du groupement momentané d'entreprises de travaux, constitué d'Eiffage Rail, ETF, VFLI, ETF Services et SFERIS, qui assure l'exploitation du train.

L'Entité En charge de l'entretien est la société Eiffage Rail, copropriétaire à 50 % du GIE Enorail.

Le constructeur du SVB800 : la fabrication et la mise au point technique de l'élément SVB800 a été assurée par la société autrichienne Plasser & Theurer⁴ dont Framafar est le représentant exclusif en France. La société Plasser & Theurer a assuré la conception technique. Elle est le promoteur du projet auprès de l'EPSF.

La conduite du train : la société ETF Services assure la conduite du train et assure la formation à la conduite de ses propres agents conducteurs.

³ Lors de la survenue de l'incendie

⁴ La société Plasser & Theurer est une société autrichienne, leader mondial des engins de travaux de la voie.

SNCF Réseau est le GI, commanditaire des travaux de renouvellement des voies. Elle assure l'exploitation et la maintenance des infrastructures de l'axe Brive-la-Gaillarde à Limoges ainsi que la surveillance du train en marche.

3.1.3 - Les acteurs impliqués dans le processus d'autorisation du train

Le train Enorail fait l'objet de plusieurs autorisations de mise sur le marché (AMM), dont celle de l'élément le plus récent⁵, le SVB800. L'**annexe 2** détaille les conditions particulières de cette instruction de dossier par l'EPSF (période transitoire avant le 4^e paquet ferroviaire).

EPSF : L'établissement public de sécurité ferroviaire, en tant qu'autorité nationale de sécurité ferroviaire, a procédé à l'examen de la demande de Plasser & Theurer pour la délivrance le 13 mai 2020 d'une AMM pour la section SVB800.

DeBo - SNCF Réseau, a été sollicité par Plasser & Theurer pour analyser sous l'angle du respect des règles nationales française les dossiers de conception du SVB800.⁶

AsBo - SNCF Réseau, a réalisé un rapport d'évaluation de conformité de la bonne application de l'analyse de risques par le constructeur et les concepteurs de l'engin de travaux. Cette évaluation consiste en la complétude des documents d'analyses de risque établis par le constructeur sans vocation à challenger la conception.

3.1.4 - Le site de l'accident

La ligne ferroviaire à double voie reliant de Brive-la-Gaillarde à Limoges (**figure 6**) est désignée sous le numéro 590 000. Elle est équipée en block automatique lumineux, partiellement équipée d'installations permanentes de contresens. Celles-ci n'existent pas sur la section de ligne où s'est déroulé l'incendie. La ligne est électrifiée en 1 500 V continu.

La voie est classée en groupe UIC 4⁷. Elle est réalisée en traverses en béton armé et en longs rails soudés (majoritairement avec traverses béton de 1962, rail 50 Kg/m de 1990). La ligne présente un profil en long difficile avec des rampes et pentes prolongées jusqu'à 10/1000, ce qui constitue pour les lignes ferroviaires conventionnelles une valeur élevée.

Le profil en long (**figure 7**) dans le sens de circulation du train sur voie 2 de Brive-la-Gaillarde à Limoges est constitué d'une pente entre 4 et 10/1000 sur 7 km jusqu'à la gare d'Ussac, d'une rampe moyenne de 7,5/1000 sur 50 km jusqu'au point haut du Pk 444,5, enfin une pente à 10/1000 de la gare de La Porcherie jusqu'au lieu de l'incendie (Pk 417,8 à 418,375).

Le tracé en plan

Sur la voie 2 il n'y a que trois courbes favorables où les conducteurs pourraient apercevoir un départ de feu ou un dégagement de fumée sur le train :

- une courbe à droite sur 481 m (Pk 421,13 à 420,64) de rayon 960 m ;
- une courbe à gauche sur 1 250 m (Pk 420,60 à 419,34) de rayon 480 m ;
- une courbe à gauche sur 360 m (Pk 419,33⁸ à 418,97) de rayon 460 m.

⁵ L'AMM porte sur la circulation du train (et non son mode travail).

⁶ SNCF Réseau dit se dégager de toute responsabilité quant au fait de ne pas avoir fait de remarques quant à l'inflammabilité du train. Son rôle se limitant à vérifier les « conformités » et non de « challenger » les choix de conception.

⁷ Tonnage brut remorqué d'environ 8 millions de tonnes par jour.

⁸ C'est dans cette courbe que le conducteur de poussa a aperçu le dégagement de fumée sur le côté gauche du train et a alerté le mécanicien de tête.



Figure 6 : Description de la ligne entre Brive-la-Gaillarde et Limoges (SNCF modifié BEA-TT)

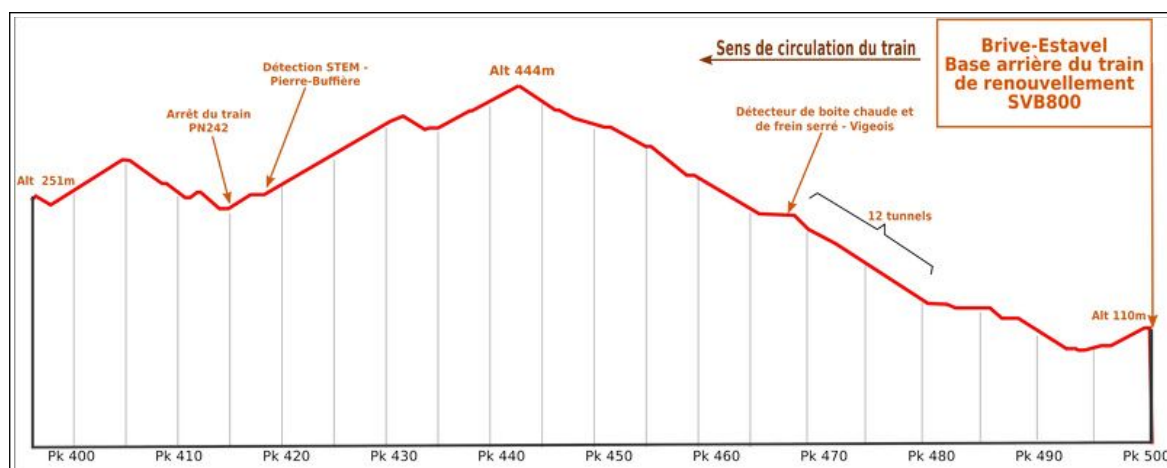


Figure 7 : Profil en long de la ligne de Brive-la-Gaillarde à Limoges

Départ Brive-la-Gaillarde 143 m au Pk 499,959
(Point le plus bas Ussac 110 m au Pk 492,87 - Point le plus haut 444 m avant La Porcherie 433 m au Pk 443,73)
Arrivée Limoges 251 m au Pk 401,150 (BEA-TT)

Les tunnels et viaducs sont des ouvrages d'art où la gravité d'un incendie se révèle à l'expérience nettement supérieure à ceux survenant en pleine ligne. La ligne comporte une dizaine de tunnels, essentiellement en rampe entre Brive-la-Gaillarde et La Porcherie. Après le PN 242 se situe le tunnel de Gilardeix. La ligne comporte aussi une dizaine de viaducs et de ponts. À moins de 2 km en aval du lieu de l'arrêt du train se situe le viaduc de la Roselle.

3.1.5 - Le chantier de renouvellement des voies

Le chantier de renouvellement de voie (RVB) par suite rapide a pour objet de remplacer les voies. Il employait deux trains usine : un train « P 95 » (train de coupe et sa dégarnisseuse) et le train Enorail avec l'élément « SVB800 ». Leur zone d'action s'étendait de la sortie de la gare de Limoges à celle de Pierre-Buffière (Pk 421) avec les sections suivantes :

- Train de substitution P 95 avec pour base arrière, Limoges au Pk 400 : voie 2 du Pk 451,124 au Pk 405,757 ;
- Train de substitution SVB800 avec pour base arrière, Brive-la-Gaillarde Pk 500 : voie 1 du Pk 436,572 au Pk 413,263 en 4 zones de 3,125 km en tout. Ces travaux étaient prévus en 20 allers et retours entre la base arrière et le chantier, soit 4 000 km en charge sur une ligne au profil exigeant.

Ces travaux sont réalisés de 21 h à 6 h par fermeture simultanée des voies 1 et 2.

Les trajets des jours précédant l'incendie (nuits de 25/26 et 26/27 mai) n'ont autorisé qu'une courte période de travail le premier jour, et aucune mise en travail du train le second jour



Figure 8 : Zones de travail prévues pour le train de renouvellement (source SNCF)

3.1.6 - Le train Enorail

La composition du train Enorail

Le train usine appartient à la société Enorail. Il a été construit en Autriche de 2017 à 2020 par la société Plasser & Theurer. Ce train est une « usine de remplacement de la voie ferrée » montée sur roues ferroviaires. Il enlève les anciens éléments de la voie avant de retirer le ballast. Ce dernier est trié, avant d'être remis en partie sur la voie après criblage. La partie au rebut est remise dans des véhicules spéciaux situés à l'arrière du train par l'intermédiaire de différents tapis de convoyeurs en caoutchouc. Le train :

- rassemble une section centrale appelée SVB800 et différents véhicules d'approvisionnement en matières ;
- permet un renouvellement à « haut rendement » de l'ensemble des constituants de la voie ferrée (rails, attaches, traverses et ballast) ;
- permet de rendre la voie en fin de période de travail à une vitesse commerciale de 80 km/h ;
- dispose d'équipements mécaniques à commandes hydrauliques tels que des portiques de manutention, des systèmes de dépose et de pose de traverses, une dégarnisseuse de ballast, des groupes de bourrage, des groupes de stabilisation...

Ce train a été utilisé de début 2020 à mi-2021 sur divers chantiers d'essai.

Il s'agissait de son premier chantier de renouvellement de voie et ballast hors secteur fermé. Il intervenait en parallèle du train de renouvellement P95.

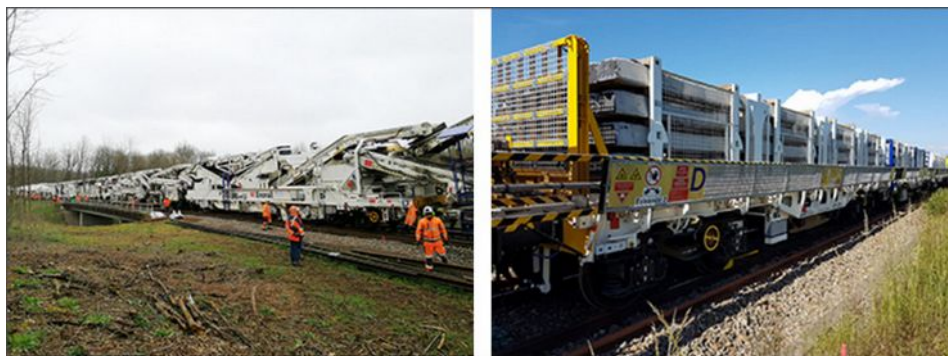


Figure 9 : Section SVB800 du train Enorail et véhicules transbordeurs de traverse (source EPSF)

Avant ce chantier, le train avait circulé près de 10 100 km depuis sa réception chez le constructeur en Autriche. Le train a ainsi fait les acheminements suivants : Autriche à Brive-la-Gaillarde, Brive-la-Gaillarde à Nîmes, Nîmes à Troyes, Troyes à Sablé-sur-Sarthe, Sablé-sur-Sarthe à Vernouillet, Vernouillet à Chateaubriand, Chateaubriand à Angoulême, Angoulême à Sablé-sur-Sarthe et Sablé-sur-Sarthe à Brive-la-Gaillarde. Le chantier de renouvellement de Limoges constitue la première utilisation du train en charge sur des trajets d'approche aussi longs, avec des pentes et rampes de 10/1000.

Les engins moteurs du train Enorail

Le jour de l'incendie, le train était tracté par quatre engins moteur thermiques :

- UM de tête : engin moteur en tête et menant G1206 61 731 de VFLI, avec un conducteur de tête, et engin moteur en tête et mené G1206 61 735 de VFLI ;
- UM de pousse : engin moteur de pousse mené G1206 1886 de Delcourt-Rail et engin moteur de pousse menant G1206 539-7 d'ETF, avec un conducteur de pousse.

Chaque locomotive G1206 a un poids en ordre de marche 87,3 t, une puissance du moteur diesel de 1 500 kW, puissance d'entrée de la transmission de 1 400 kW, une puissance utile maximale à la jante de 1 100 kW, une vitesse maximale autorisée de 100 km/h et un effort de traction maximal au démarrage 235 kN, réservoir de 3 150 litres de carburant diesel, altitude maximale d'utilisation sans réduction de puissance 500 m.

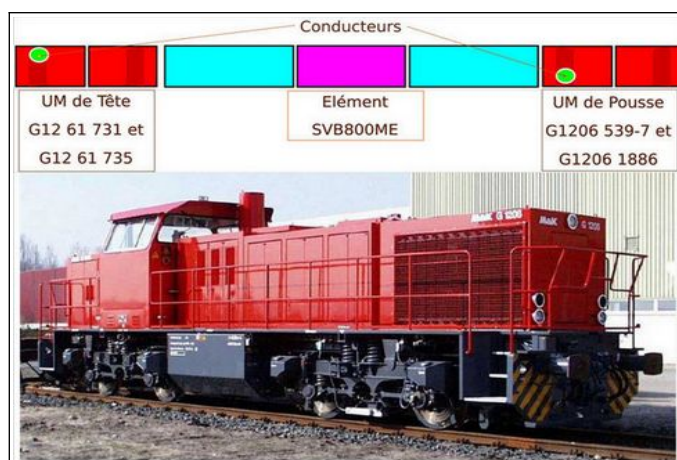


Figure 10 : Engin moteur G1206 (Vossloh Locomotives)

Les locomotives disposent d'un lien radio permanent entre les UM de tête et de pousse.

La composition du train Enorail

Les nuits du 25 au 26 et du 26 au 27 mai précédant l'incendie, le train Enorail était constitué des véhicules spécialisés suivants (dans le sens de la marche avec 3 locomotives) :

- un véhicule plat de services R90 standard ;
- des véhicules de transport de traverses ;
- l'élément SVB800 [coupe, criblage, bourrage, stabilisation – 42 essieux] ;
- des véhicules multifonctions MFS ;
- des véhicules de transport de ballast.

Son poids en charge était de 3 033 t et sa longueur de 725 m. Dans cette configuration, les acheminements sont effectués à la vitesse moyenne de 25 km/h dans la rampe à 10/1000. Pour augmenter cette vitesse, un engin moteur supplémentaire a été ensuite requis.

La nuit du 28 au 29 mai, la composition du train a été renforcée avec la locomotive G1206 539-7 Delcourt-Rail, et la section tractée a été raccourcie et allégée. Le train Enorail présentait alors une charge de 2 633 t et une longueur de 625 m. La vitesse théorique du train dans la rampe devait atteindre 54 km/h avec 4 locomotives actives en rampe moyenne de 7,5/1000, ou 45 km/h en cas de défaillance d'une des locomotives.

Le freinage du train Enorail

Le train Enorail évolue en acheminement dans les mêmes conditions qu'un train de fret et utilise le frein à commande pneumatique (**annexe 3**). Une dépression dans la conduite générale commande les distributeurs qui répartissent aux blocs frein les variations de pression à exercer par les semelles de freins sur la table de roulement des roues, comme l'illustre la **figure 11**. Ce mode de freinage est seul actif en acheminement.

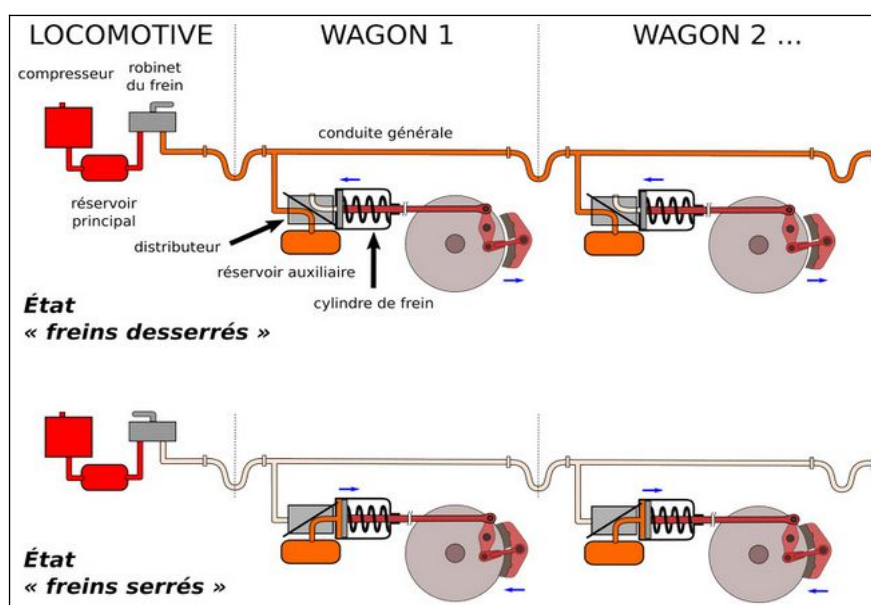


Figure 11 : Principe du frein pneumatique avec conduite générale (source BEA-TT)

Les semelles de freinage de l'élément SVB800 sont du type composite K CoFren 333. Elles sont composées d'alliage de poudre de métal et d'additifs à base de polymère. Ces semelles réalisent un freinage plus puissant que les semelles fonte. Elles ont une inertie thermique plus faible et montent plus rapidement en température.

3.1.7 - L'élément SVB800

Généralités

L'élément SVB800 a reçu son AMM le 13 mai 2020 par l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF) pour circuler en France ainsi qu'un agrément de travail délivré par SNCF Réseau en qualité de GI⁹.

Sur la zone de travail, l'élément SVB800 a la particularité de pouvoir évoluer¹⁰ de manière autonome avec une puissance de 1 500 kW (traction autonome du train en diesel avec transmission hydrostatique). Les engins moteurs utilisés pour l'acheminement sont mis en remorque. Lorsque l'élément SVB800 est en mode « travail », des détecteurs d'incendie sont mis en œuvre au niveau des moteurs thermiques ; ceux-ci sont neutralisés en acheminement du fait de la coupure des alimentations électriques.

Lors des acheminements de l'élément SVB800 entre le garage et la zone de travail, tous les dispositifs sont relevés, mis et verrouillés en position neutre, toutes les alimentations électriques sont coupées et les moteurs thermiques mis à l'arrêt. Ces opérations sont à réaliser avant les opérations de formation du train par un agent du propriétaire du train. Leur réalisation se traduit par la remise au conducteur de tête de fiches AMOR complétées. À cette fin, avant de couper les énergies sur l'élément SVB800, il y a lieu de vérifier dans la cabine de supervision (WSC) que tous les verrouillages et toutes les commandes sont en position « acheminement ». Ce contrôle des verrouillages peut aussi se faire dans toutes les cabines de travail avec un « touchpanel ». Le WSC permet de visualiser les pressions dans les cylindres de frein, donc en aval des distributeurs de freinage et de la conduite travail, ce qui permet de s'assurer de l'absence d'air.

La dernière pesée du SVB800 a été effectuée par l'ECE en avril 2021 à Sablé-sur-Sarthe. Des allègements de charge ont été réalisés pour s'éloigner des valeurs limites et créer des marges de manœuvre. Les valeurs de charges à l'essieu ont été présentées à l'EPSF, sans requérir de modification de l'AMM.

Les véhicules de l'élément SVB800

Les véhicules de l'élément SVB800 sont décrits dans l'ordre de leur emplacement dans le train par les **figures 12 à 18**. Ils comportent 42 essieux dont 28 sont « porteurs » lorsque leur dénomination commence par L, et 14 sont « porteurs et moteurs en mode travail » lorsque leur dénomination commence par A.

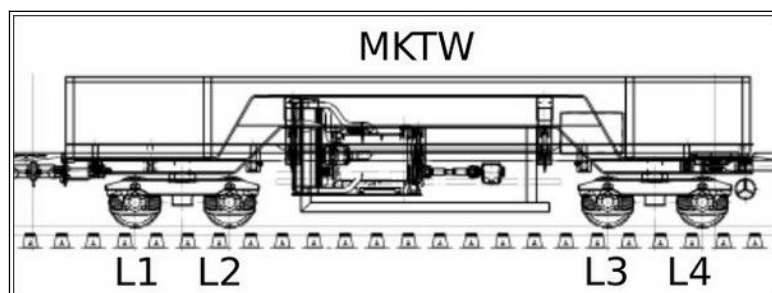


Figure 12 : Constitution du train SVB800 – MKTW (source Plasser & Theurer)

⁹ Cf. annexe 2

¹⁰ Et de faire évoluer l'ensemble du train Enorail, les engins moteurs étant mis en remorque.

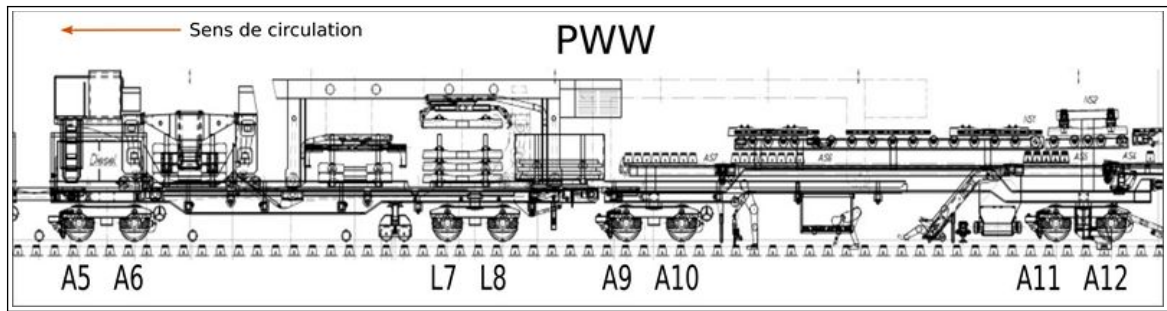


Figure 13 : Constitution du train SVB800 – PWW (source Plasser & Theurer)

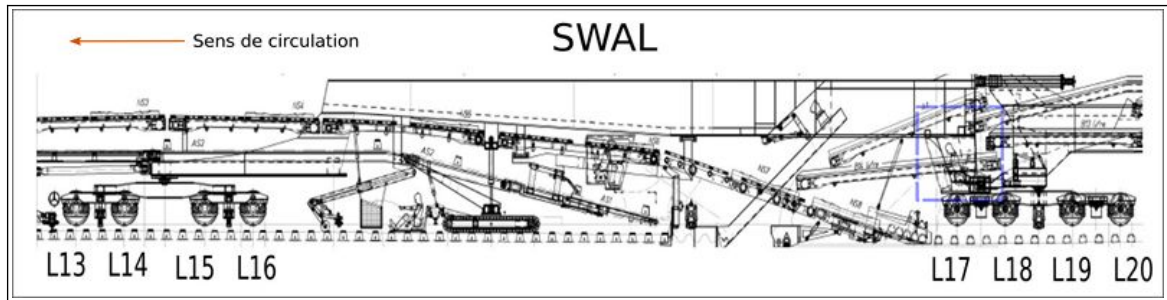


Figure 14 : Constitution du train SVB800 – SWAL1 (source Plasser & Theurer)

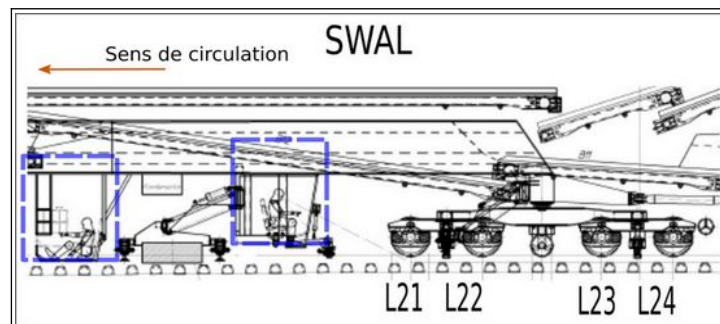


Figure 15 : Constitution du train SVB800 – SWAL2 (source Plasser & Theurer)

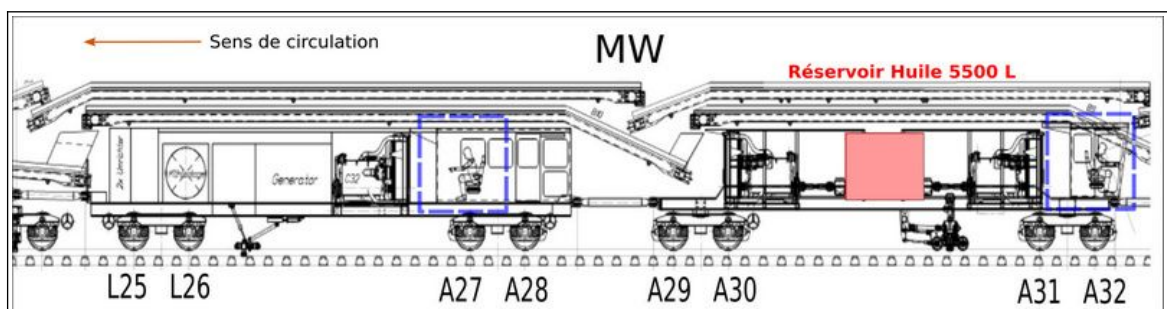


Figure 16 : Constitution du train SVB800 – MW (source Plasser & Theurer)

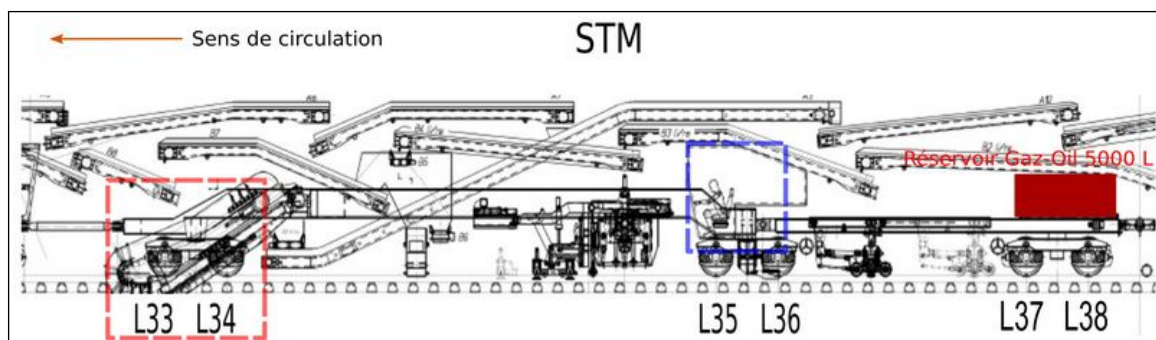


Figure 17 : Constitution du train SVB800 – STM (source Plasser & Theurer)

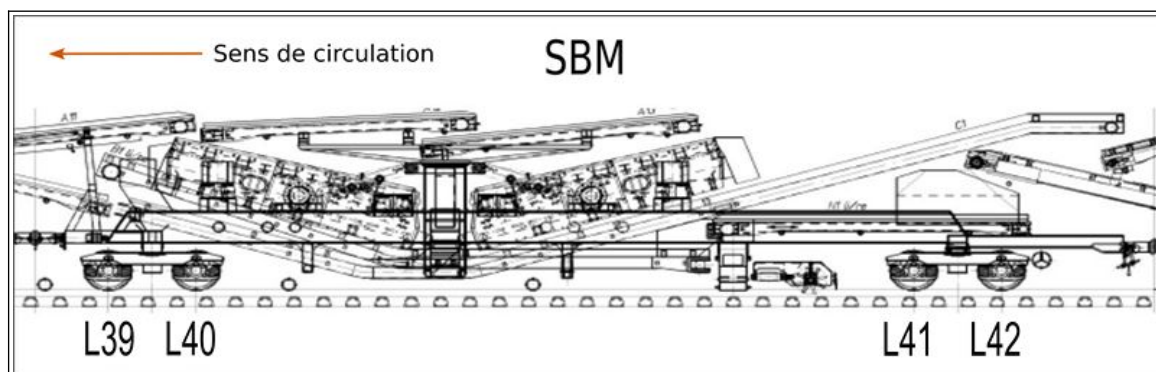


Figure 18 : Constitution du train SVB800 – SBM (Plasser & Theurer)

Les zones incendiées sont repérées aux **figures 48 à 51**.

L'élément SVB800 dispose de 6 cabines de travail situées sur les véhicules SWAL, MW et STM. Les cabines 1 et 6 commandent le frein de travail.

Les pare-étincelles

Les roues de l'élément SVB800 sont équipées d'un pare-étincelles en fibre de verre recouverte de résine (**figure 19**). Les choix de conception du constructeur sont dictés par :

- Les contraintes d'encombrement liées aux fonctionnalités de la machine.
- La volonté de concevoir un pare-étincelles au plus près de la roue guidant les étincelles vers la voie. L'objectif est d'encapsuler la roue.
- Le pare-étincelles intègre les contraintes de déplacement des systèmes de freinage et de suspension. Il est fixé sur la boîte d'essieu. Il ne recouvre pas les semelles de freinage pour faciliter leur maintenance et permettre un levage du bogie sans requérir leur démontage.
- Le pare-étincelles est en fibre de verre avec une conductibilité thermique faible. Il a été développé en classe R1 HL2 de la norme EN 45 545 (niveau d'exigence supérieur aux classes R1 ou R12). Sa structure (plusieurs couches de fibres de verre) et sa forme géométrique sont adaptées pour atteindre une résistance mécanique recherchée.
- le poids du pare-étincelles (7,5 kg/roue) est équivalent au poids d'une tôle protectrice.

Ces pare-étincelles sont en usage depuis 1999 sur les engins du constructeur. Selon les recherches réalisées par le BEA-TT, plusieurs incidents de freins serrés sont survenus sans que le pare-étincelles ne crée un départ de feu susceptible de s'étendre au véhicule

(le matériau se consume avec quelques flammèches, ne s'étend pas et s'éteint généralement de lui-même).

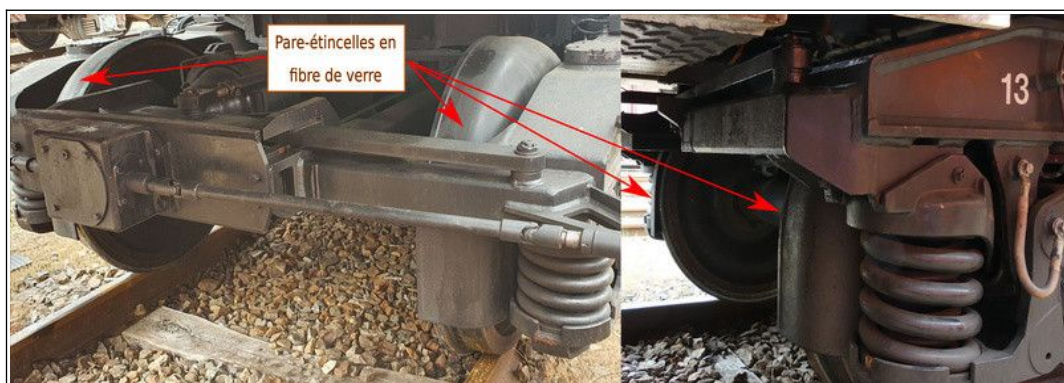


Figure 19 : Pare-étincelles en fibre de verre en bon état des essieux L13 et L14

Les dispositifs de protection

Des dispositifs de protection ont été mis en place, en complément des pare-étincelles équipant les essieux, sur certains d'entre eux pour protéger les organes de roulement et de freinage d'un risque d'endommagement par les chutes de ballast tout en ménageant une « lame d'air » d'aération au-dessus des semelles.

Celles-ci peuvent être :

- **tôles métalliques**¹¹ sur les bogies 8 et 12 (figure 20) ;



Figure 20 : Essieux avec pare-étincelles et bogie avec carénage rigide métallique bogies 8 (à gauche) et 12 (à droite) (source BEA-TT)

- **bâche souple** sur le bogie 17.

Les **figures 21 et 22** montrent la bâche souple au-dessus des essieux L33 et L34 du bogie 17. La bâche a été mise en place en août 2020, sans l'aval formel du constructeur, ce malgré des réunions « matériel » entre le constructeur et le groupement. Elle avait pour objet la protection des éléments latéraux du bogie des projections de ballast verticales et transversales. En mode travail, la bâche est abaissée de part et d'autre du bogie afin de protéger les boîtes d'essieux et les roues des projections latérales de ballast lors de la mise en route des dégarnisseurs de têtes de traverses sans arrêt du train. La bâche souple a été mise en place par l'exploitant du train. Sa composition n'est connue

11 Il existe un jeu entre la structure du bogie et la protection, afin de conserver la ventilation naturelle du bogie. La STI Wagon qui préconise d'utiliser des tôles rigides pour les wagons de fret lorsque cela est nécessaire n'est pas d'application obligatoire aux trains de travaux

d'aucune des parties. Le matériau de la bâche souple n'a fait l'objet d'aucune qualification de résistance au feu.



Figure 21 : Bogie 17 avec bâche (jupe) souple repliée débordant des essieux L33 et L34 en position acheminement (source BEA-TT)

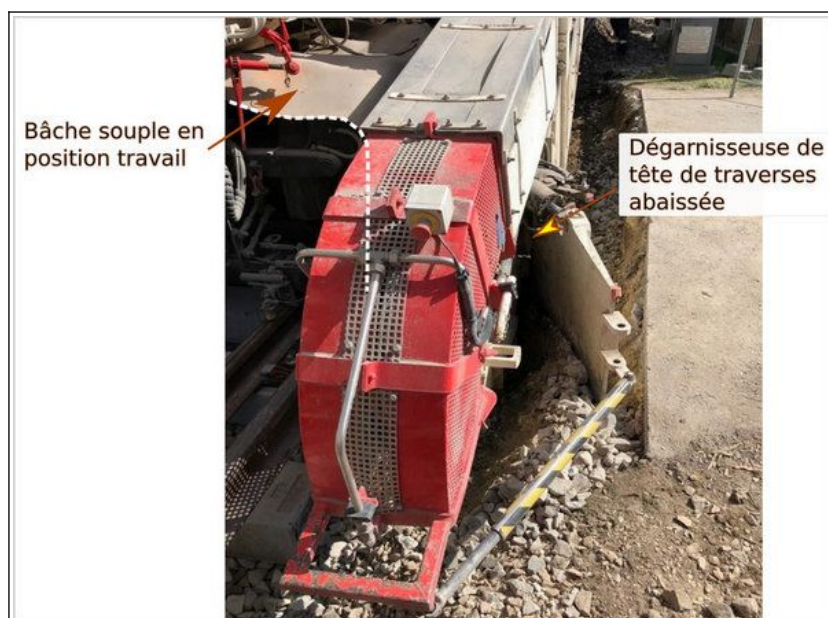


Figure 22 : Bogie 17 avec la bâche souple abaissée en mode travail et dégarnisseuse de têtes de traverses en action (source BEA-TT)

Les câbles électriques et flexibles hydrauliques sont à plus d'un mètre au-dessus du bogie 17 (comme sur de multiples autres bogies du SVB800). Ils ont néanmoins été choisis pour répondre respectivement aux exigences des classes R15 & R16 et R22 & R23 de la norme EN 45 545, le niveau le plus élevé dans la classification au feu de ce type de composants).

Une attention particulière est à porter au fait qu'en mode acheminement la bâche souple repliée est en « au contact » de la partie supérieure des pare-étincelles et du châssis du bogie 17. La bâche souple se positionne ainsi à environ 50 mm du plan de roulement des roues. Même repliée en mode acheminement, elle s'abat longitudinalement de part et d'autre du bogie, modifie la circulation d'air autour des roues et des systèmes de freinage (**figure 23**). Ces bâches constituaient une solution temporaire avant la mise en place d'une solution définitive.

reparties sur la machine. L'élément SVB800 possède pour le freinage (hors stockage d'air et automate de commande des freins en mode travail) :

- 9 Distributeurs de frein indirect KE ;
- 9 Vannes d'isolement bilatérale de distributeur KE ;
- 9 Unités électropneumatiques de frein direct ;
- 18 Vannes d'isolement de frein direct ;
- 9 Distributeurs de frein travail ;
- 2 Distributeurs de mise sous pression air travail ;
- 19 Cylindres de frein.

Le frein indirect

Le frein indirect ou frein FAMAD est un frein commun à tout véhicule ferroviaire, c'est un frein automatique et modérable. Il fonctionne par l'intermédiaire d'un distributeur de frein type KE (Knorr) présent sur chaque wagon, d'une conduite générale (CG) continue sur l'intégralité de la rame, et des cylindres de frein. La CG, en jaune sur le schéma de la **figure 26**, parcourt la rame de bout en bout. En circulation, elle est alimentée et purgée par l'intermédiaire du robinet de mécanicien de l'engin de traction. De plus, l'élément SVB800 dispose de son propre dispositif de robinet de mécanicien uniquement actif en mode travail qui permet le freinage de l'ensemble du train de travaux lorsque la machine est en mode travail. Le distributeur de frein type KE, le régime de freinage (marchandise ou passager), ainsi que la tirette de purge peuvent être actionnés par des commandes bilatérales présentes sur chaque véhicule.

En mode travail, les variations de pression de la conduite générale pour freiner l'intégralité de la rame sont effectuées par le robinet de mécanicien intégré au SVB800. Le distributeur de frein type KE réagit aux variations de pression de la conduite générale. À la pression nominale de fonctionnement, les cylindres de frein sont mis à l'atmosphère et le wagon n'est pas freiné. Lorsque cette pression chute, le distributeur envoie une pression d'air vers les cylindres de frein pour freiner. Plus la chute de pression dans la conduite générale est importante, plus la pression dans les cylindres de frein sera grande et plus le wagon sera freiné.

En mode acheminement, l'élément SVB800 se comporte comme un wagon classique, la variation de pression dans la conduite générale est réalisée par l'engin de traction.

Le frein travail

Le frein travail est un frein utilisé uniquement en mode travail et n'agit que sur l'élément SVB800. Sa commande est électrique et il est piloté par le levier d'avance en cabine 1 ou 6 ou par l'automate. Il est alimenté par la conduite d'air travail, elle-même alimentée en air par la conduite principale. La mise en service de l'air travail se fait par l'intermédiaire de deux distributeurs de mise sous pression air travail commandés simultanément, situés à l'avant et à l'arrière du SVB800. La conduite air travail, en noir sur le schéma de la **figure 25**, vient alimenter le distributeur de frein travail. Celui-ci a un fonctionnement tout ou rien.

En mode travail, en l'absence de commande électrique, le distributeur de frein travail alimente le cylindre de frein. Si le distributeur est alimenté, la pression du frein travail est éliminée.

En mode acheminement, le distributeur de frein travail et les deux distributeurs d'air travail ne sont pas alimentés électriquement. L'air travail est donc automatiquement purgé. Le frein travail est inactif. Pour garantir cet état et en complément de la purge automatique provoquée par l'absence d'alimentation électrique, il est nécessaire au regard de la documentation de Plasser & Theurer de purger la conduite principale et la conduite d'air travail.

Le frein direct

Le frein direct est une unité électropneumatique. Il n'est utilisé qu'en mode travail et isolé en mode convoi au moyen d'une commande électrique agissant sur les distributeurs de frein direct. Il est alimenté par l'air de la conduite principale ou par des réservoirs intermédiaires pris sur la conduite principale, en bleu sur le schéma de la **figure 25**. Ces réservoirs constituent une réserve d'air en cas de fuite sur la conduite principale. La commande de l'unité de frein direct peut se faire de la cabine 1 ou de la cabine 6 ou par l'automate lorsque la machine est sous tension (mode travail). Les distributeurs de frein direct mémorisent les impulsions ainsi transmises par le manipulateur.

En mode travail, pour activer le frein direct, l'une des deux vannes d'isolement du véhicule doit être mise en service pour chaque unité de frein direct. Le frein direct ne peut être commandé que lorsque la machine est sous tension (mode travail) et par l'intermédiaire du manipulateur de commande situé en cabine 1 ou cabine 6 ou par l'automate. Lorsque l'unité de frein direct est commandée en freinage, l'air est envoyé directement dans les cylindres de frein via l'unité de frein direct. En l'absence d'alimentation électrique, l'unité de frein direct est en position freinage et l'air est envoyé directement dans les cylindres de frein.

En mode acheminement, le constructeur précise que lors de la mise en position transport, il est impératif de purger la conduite de frein direct en actionnant les deux vannes d'isolement de chaque unité de frein direct. Ces vannes sont cadencées et leurs positions sont visualisables en cabine de supervision. Une fois ces opérations réalisées, ce frein est inactif. Aussi en mode acheminement :

- Le distributeur KE reste actif et relié à la conduite générale. Le frein indirect est actif. La locomotive de tête assure la mise en pression de la conduite générale et la commande du frein. Ce frein agit sur l'ensemble du train.
- Le Frein Direct est neutralisé par une commande double (une vanne cadencée de chaque côté du véhicule). Les réservoirs de 40 litres connectés à la commande principale, en amont des vannes, restent néanmoins sous pression du fait de la présence de valves antiretour. Ce type de frein n'existe que sur l'élément SVB800.
- Le Frein de Travail est neutralisé par une commande électrique commandant deux électrovannes disposées à chaque extrémité du SVB800. Leur action permet la mise à l'atmosphère du circuit de commande du frein de travail. Ce frein n'existe que sur l'élément SVB800.

La **figure 25** illustre le montage des circuits de freins sur le périmètre d'un véhicule.

L'action des différents freins sur les cylindres de frein du véhicule s'opère au moyen de clapets sélecteurs de circuit¹² assurant, sans mémorisation, la transmission vers la sortie de la pression la plus élevée (transmission de la plus forte commande de freinage). La **figure 26** propose une représentation schématique simplifiée de la hiérarchisation des freins d'un véhicule. Elle montre notamment que si une pression résiduelle existait dans la commande du frein direct ou du frein de travail, celle-ci serait transmise inconditionnellement aux cylindres de frein du véhicule.

12 Clapet 90 452 sur le schéma de la figure 25

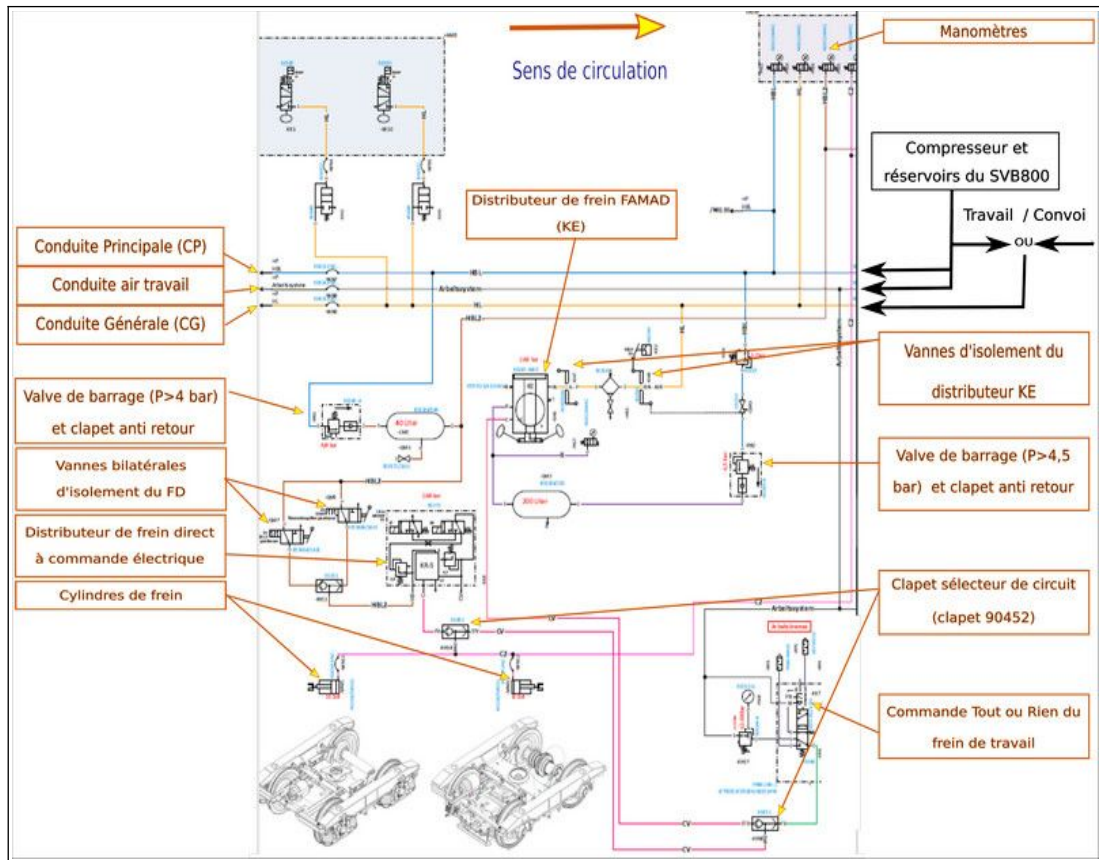


Figure 25 : Schéma de commande des freins d'un véhicule (Framafer modifié BEA-TT)

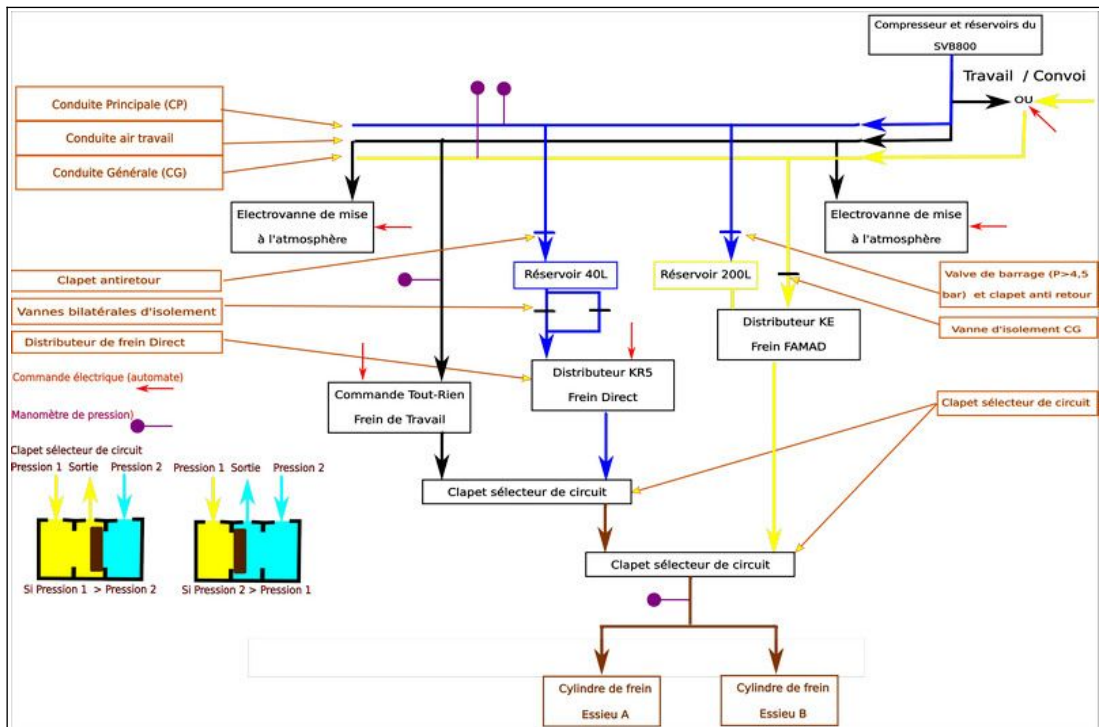


Figure 26 : Schéma de représentation simplifiée de la hiérarchisation des freins d'un véhicule (BEA-TT)

Les combustibles à bord de l'élément SVB800

L'élément SVB800 peut évoluer sur la zone de chantier en traction autonome diesel et intègre un grand nombre d'équipements mécaniques motorisés mus avec des moteurs thermiques et utilisant des vérins à huile.

Pour assurer son fonctionnement et garantir une autonomie suffisante, l'élément SVB800 dispose de réservoirs d'huile hydraulique et de combustible. En cumulant les réserves de combustible et d'huiles des véhicules de transport de traverses, l'élément SVB800 transporte 30 000 litres de liquide inflammable dont la température « éclair » est proche de 240 °C. L'huile hydraulique utilisée est de type « PANOLIN HLP SYNTH46 ». Les flexibles hydrauliques sont toujours en charge.

3.1.8 - Les opérations pour la mise en mode acheminement du SVB800

Durant les remorquages ou acheminements, aucune personne ne doit se trouver à bord du SVB800. Les verrouillages des machines en position transport sont exécutés en double pour les acheminements. À cette fin, il est notamment demandé :

- d'ôter tout ballast en vrac sur les véhicules ;
- de mettre les coupe-batteries des moteurs thermiques, des groupes électrogènes et de l'alimentation du circuit électrique général +24 V en position « 0 » ;
- de tourner les 18 robinets d'isolement du frein direct en position « 0 » (fermée) ;
- de commander la mise à l'air des deux extrémités du frein de travail ;
- de purger la conduite principale (CP).

La documentation du constructeur Plasser & Theurer¹³ requiert la purge de la conduite principale préalablement à la remise de l'AMOR.

L'opérateur en charge de la mise en mode convoi du SVB800 ne dispose pas de document opérationnel qui lui permettrait de vérifier, pour chaque véhicule, que chaque opération a été effectuée dans l'ordre et complètement.

Ces opérations doivent être effectuées avant toute délivrance d'une AMOR pour l'élément SVB800. Elles doivent garantir que les freins directs et freins de travail ne peuvent se mettre en action, totalement ou partiellement, de manière indue.

Les fiches AMOR

La circulation en « acheminement » du train Enorail requiert au préalable une mise en condition (neutralisation et immobilisation de l'ensemble des parties actives du train) et la rédaction de quatre fiches d'AMOR¹⁴. Elles doivent être remplies et signées par un représentant du propriétaire du train Enorail : une pour l'élément SVB800, une pour les 2 ensembles WT3E (traverses), une pour les 8 ensembles MFS et une pour les deux DGS (stabilisateur).

Un bulletin de freinage valide la capacité de freinage du train. Il doit être établi et vérifié conformément aux réglementations nationales du gestionnaire d'infrastructure.

La formation du train

La formation du train s'opère sur la base de Brive-Estavel. Celle-ci dispose d'un faisceau de voies entre les postes de manœuvre T (côté voies principales de la gare de Brive-la-

¹³ Documentation de la société Plasser & Theurer version 0.5 du 21.12.2020

¹⁴ Aucune intervention sur le train ne doit avoir lieu après remise de l'AMOR. Or dans notre cas, l'AMOR a été remise à 13 h et des mouvements d'organes de travail ont été effectués jusqu'à 13 h 30

Le document EPSF RC A 7d n° 9 exige à l'article 303 une AMOR par véhicule basé sur une analyse des risques.

Gaillarde) et poste Q. Ce dernier donne accès à un autre faisceau permettant la composition complète du train Enorail.

Au regard de la longueur des voies du premier faisceau de voies¹⁵ de Brive-Estavel, le train est décomposé en quatre sections. Les sections ont fait l'objet d'autorisations de travail¹⁶ sur le chantier de Brive-Estavel. Celles-ci ont été restituées le 28 mai 2021 au poste T à 13 h 15.

La **figure 27** précise la configuration des lieux et les mouvements effectués lors de la formation du train par la locomotive de manœuvre tels qu'ils ont pu être reconstitués. Le mouvement M de positionnement de la section UM et traverses (WT3E) n'a pas fait l'objet d'autorisation de travail et a été effectué en cours de la matinée. Les mouvements 1 à 5 de formation complète du train l'ont été dans l'après midi.

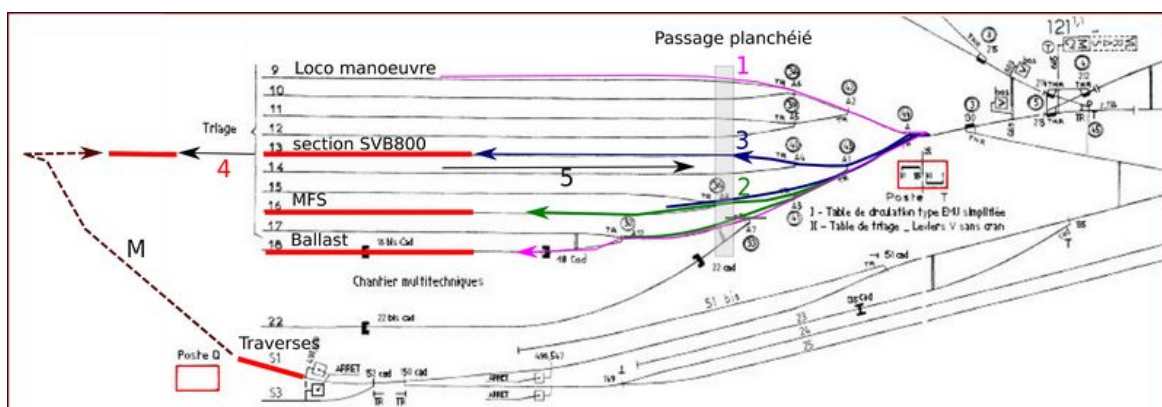


Figure 27 : Topologie du faisceau de formation de Brive-Estavel
Mouvements de la locomotive de manœuvre 1 à 5 pour former le train prêt au départ Voie 13
(SNCF modifié BEA-TT)

La **figure 28** précise de même la configuration des lieux et les mouvements effectués pour d'une part, sortir du chantier de Brive-Estavel et la mise en tête du train en amont du carré C120 de Brive-la-Gaillarde et, d'autre part, partir en ligne sur la voie 2 vers Limoges.

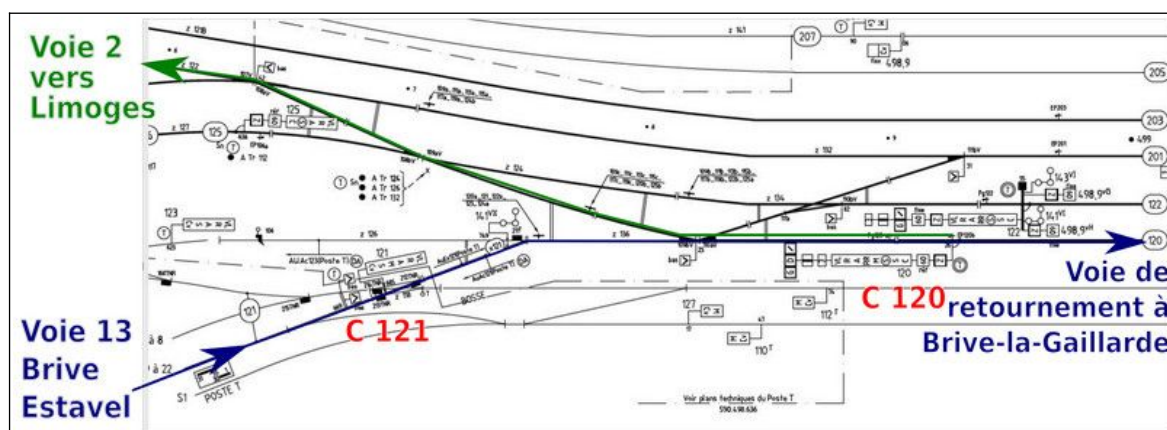


Figure 28 : Topologie du faisceau de formation de Brive-Estavel (SNCF modifié BEA-TT)

15 De l'ordre de 440 m de garage franc côté poste T à garage franc côté poste Q

16 Attestation d'une protection de la voie, permettant à du personnel d'y accéder – accord de protection donné par le poste d'aiguillage protégeant contre d'éventuels mouvements de train quand du personnel est à bord

La surcharge et l'essai statique de frein complet

Le référentiel EPSF RC A-B 7c n°1¹⁷ et SNCF TT00513 indiquent que la méthode de vérification du bon fonctionnement du frein continu automatique du train s'effectue au moyen de l'essai de « **frein complet** », qui requiert les étapes suivantes :

- Le conducteur alimente en surcharge¹⁸ la conduite générale (CG), stoppe l'alimentation en surcharge, attend 10 s puis commande la fonction neutre pour s'assurer de l'étanchéité de la CG ;
- Le conducteur assure la commande d'un serrage des freins et surveille ses manomètres ;
- L'agent Formation ETF Services, assisté par le Dirigeant de Base SNCF Réseau doit vérifier le serrage des freins en visitant les wagons de la tête vers la queue ;
- L'agent de formation, arrivé en queue de train, réalise la vidange de la CG ;
- Le conducteur constatant la « vidange franche complète et continue » de la CG, commande le desserrage complet des freins en alimentant en surcharge ;
- L'agent formation, en se déplaçant de la queue vers la tête, s'assure du desserrage des semelles de frein (méthode 3 points) – Il rend compte au conducteur du résultat de l'essai de frein ;
- Le conducteur cesse d'alimenter en surcharge dès l'assurance que tous les équipements de frein sont armés. La surcharge s'élimine dans un délai d'environ 3 minutes.

La réalisation d'un essai de « **continuité** » requiert les étapes suivantes :

- Le conducteur assure la surcharge de la CG, stoppe l'alimentation en surcharge, attend 10 s puis commande la fonction neutre pour s'assurer de l'étanchéité de la CG ;
- Le conducteur placé en tête du mouvement assure la commande de serrage des freins et surveille ses manomètres ;
- Le conducteur de queue vérifie le serrage des freins du dernier véhicule du train, puis réalise la vidange de la CG ;
- Le conducteur constatant la « vidange franche, complète et continue » de la CG, commande le desserrage complet des freins en alimentant en surcharge ;
- Le conducteur de la locomotive de queue s'assure du desserrage des semelles de frein du dernier véhicule. Il rend compte au conducteur de tête du résultat de l'essai de frein ;
- Le conducteur de tête cesse d'alimenter en surcharge dès l'assurance que tous les équipements de frein sont armés. La surcharge s'élimine dans un délai d'environ 3 minutes.

L'enregistrement de la bande graphique de l'engin de manœuvre BB 63 637 et des enregistrements ATESS des engins moteurs du train ne permettent pas de mettre en doute les déclarations des conducteurs, ni de connaître l'exhaustivité des pressions atteintes lors des essais de frein complet et de continuité. Néanmoins, l'enregistrement TeLoc de la BB 63 637 permet de déterminer le temps aux différentes opérations, en particulier l'essai de frein complet, réalisé dans un temps anormalement court (19 min environ) au vu des opérations à exécuter.

17 Version 6 (applicable à partir du 13/12/20)

18 Le référentiel EPSF RC A-B 7c n° 1 ne demande explicitement pas de surcharge pour les essais réglementaires du frein. Néanmoins, le § C12.03 du référentiel SNCF TT00513 requiert l'utilisation systématique de la fonction surcharge pour ces essais réglementaires. Il en est de même dans le référentiel ETF services, copie « mot pour mot » du référentiel précédent. L'usage de la fonction surcharge n'est pas tracé sur la bande graphique de l'engin de manœuvre.

Pour mémoire, à la suite de plusieurs incidents de freins constatés sur le RFN, « l'Infralog national SNCF Réseau »¹⁹ avait édité une note de sécurité aux bases arrière de trains de travaux, précisant que l'essai de frein complet statique, incluant la surcharge, ne devait plus être réalisé par l'engin de manœuvre ayant formé le train mais par l'engin de traction du train.

L'essai de roulage

Lorsqu'un « essai de roulage » est prescrit, le conducteur doit, après avoir décollé le train, interrompre l'effort de traction et vérifier que le train roule sur l'erre sans résistance particulière à l'avancement. Lorsque le conducteur observe une résistance anormale à l'avancement, il s'arrête, puis procède à la visite du train. Aucune durée minimale pour réaliser l'essai n'est imposée par les référentiels de l'EPSF RC A-B 7c version 3 du 21 septembre 2015.

L'essai de roulage a essentiellement pour objet de détecter avant tout départ en ligne que :

- aucune « cale antidérive » n'a été oubliée en voie (déraillement assuré au franchissement du premier appareil de voie) ;
- aucun frein d'immobilisation n'a été oublié (volant jaune actionnant mécaniquement les freins) ;
- aucun frein n'est indûment en action (frein serré).

Dans notre cas, l'essai de roulage a été réalisé par le conducteur de tête du train lors du départ en ligne depuis le carré 120. Cet essai ne peut néanmoins garantir la non-existence de semelles en « frottement léger » à la suite d'un desserrage incomplet.

Un contrôle au défilé a aussi été réalisé lors du mouvement exécuté depuis la voie 13 vers la voie principale²⁰.

L'essai de frein dynamique

Cet essai a pour objet de vérifier au plus tôt après le départ en ligne du train, celui-ci ayant atteint une vitesse commerciale, si l'usage du frein de service permet une réduction adéquate de la vitesse. Dans notre cas, cet essai a été réalisé après plus de 60 km de circulation en ligne compte tenu de la rampe (pour ce genre de train, un essai dynamique du frein à vitesse inférieure à 60 km/h conduit à l'arrêt).

3.1.9 - Utilisation du frein en pente

Le référentiel, SNCF TT00513, article C13.01, indique que le frein automatique modérable est généralement utilisé sur les trains, qu'une cadence trop rapide des manœuvres alternées de serrage et de desserrage conduit à l'épuisement du frein (il faut une minute en position marche pour réalimenter les équipements de frein).

La descente en dents de scie est une méthode qui consiste à provoquer des chutes de vitesse importantes pour permettre la réalimentation complète des équipements de frein avant une nouvelle utilisation. Le règlement R.300.14 définit la règle de conduite à adopter : un freinage d'au plus 60 s pour obtenir une chute de vitesse conséquente puis un desserrage complet maintenu durant au moins 90 s (**annexe 6**).

La ligne Brive-la-Gaillarde à Limoges n'est pas désignée ligne à forte pente. Elle présente une pente de 10/1000 sur 50 km alors que les seuils pour être désignée comme telle sont

¹⁹ Note sécurité de l'Infralog national USR2/ETMF du 05/10/2018 annoncée comme n'étant plus applicable depuis le 31/12/2019

²⁰ La surveillance au défilé doit détecter des freins restés serrés de par le bruit qui en résulte. Il apparaît cependant que les semelles composites, et c'est une des raisons de leur mise en place, ne font pas de bruit.

de 20/1000 sur 15 km , 25/1000 sur 10 km, 30/1000 sur 5 km. L'utilisation du frein en modérabilité est donc autorisée sur cette ligne afin de ne pas dépasser la vitesse limite.

Le freinage en modérabilité est prévu dans le guide de conduite ETF Service qui reprend, mot pour mot, le référentiel SNCF TT0044 décrivant l'utilisation du frein automatique.

Le retour d'expérience des chemins de fer suisses que s'est procuré le BEA-TT (**annexe 6**) conduit à :

- constater qu'une cadence trop rapide des manœuvres alternées de serrage et de desserrage pouvait conduire au maintien du freinage sur les wagons de la partie centrale du train (frein serré) ;
- mener une expérimentation comparative du comportement du système de freinage dans des pentes de longue distance (tunnel du Gothard). Celle-ci a montré que, d'une part, le freinage en modérabilité conduisait à un échauffement quasi linéaire de la température des semelles lié à la distance parcourue et, d'autre part, le freinage en dents de scie correctement effectué permet de maintenir la température des semelles à une valeur constante acceptable (200 °C au lieu de 500 °C).

3.1.10 - La surveillance des trains en marche

L'obligation est faite sur le RFN d'assurer la détection des boîtes chaudes (référentiel EPSF SAMI D 001) et dans la mesure du possible la détection des freins serrés, celle-ci n'étant pas obligatoire dans le cadre européen. Les DBC-DFS peuvent générer :

- une alarme simple dès que la température d'une boîte d'essieux dépasse environ 60 °C (température déterminée en fonction de celle ambiante) ;
- une alarme danger dès que la température d'une boîte dépasse 90 °C ;
- une alarme simple dès que la température des bandages d'une roue dépasse 350 °C ;
- une alarme danger dès que la température des bandages des roues dépasse 450 °C.

De manière générale, les conducteurs des trains croiseurs et le personnel au sol dans l'attente du début des travaux participent à la surveillance des trains en marche. Dans notre cas, aucun dysfonctionnement n'a été remonté par ces opérateurs.

La détection des défauts de boîte chaude et de frein serré est assurée sur les voies 1 et 2 par le détecteur de 4^e génération de Vigeois implanté au Pk 468,8²¹.

Le DBC-DFS de Vigeois était hors service depuis plusieurs jours. Une « Surveillance des Trains en Marche renforcée », sans conséquence sur la circulation des trains, a été mise en place pour couvrir partiellement le risque lié à l'indisponibilité du DBC. Les agents circulation d'Uzerche et de Pierre-Buffière y participent à hauteur de leur capacité de réduction du risque.

La surveillance humaine ne peut, au regard des défauts de frottement léger ou de frein serré, être considérée comme équivalente à une surveillance par un système DBC-DFS. Le constructeur des semelles K de type C 333 précise que les gerbes d'étincelles visibles par des observateurs en bord de voie n'apparaissent qu'à partir de 600 à 700 °C.

Aussi, le dysfonctionnement du DFS n'a peut-être pas permis la détection de l'échauffement. Et la mesure compensatoire mise en place ne permet de détecter un échauffement excessif qu'à partir du moment qu'il génère des signes visibles (étincelles, feu, rougissement des semelles, fumées...).

21 50 km avant le lancement de l'alerte

3.1.11 - La météorologie

Le vendredi 28 mai 2021, la température en journée a atteint 30 °C avec un temps clair dégagé sans nuage, sans précipitation et avec un vent faible de l'ordre de 10 m/s.

Au moment de l'incendie, la luminosité était suffisante pour apercevoir au loin les colonnes de fumée. La température était de 21 °C, l'humidité de l'air de 58 % avec un léger vent de Nord Nord-Est.

3.2 - Description factuelle des évènements

3.2.1 - Les résumés des témoignages

Les résumés sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations orales ou écrites dont ils ont eu connaissance. Ils ne retiennent que les extraits qui paraissent utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des événements et pour formuler des recommandations. Il peut exister des divergences entre les différentes déclarations ou entre ces déclarations et des constats ou des analyses présentés par ailleurs.

Témoignage du conducteur de manœuvre

Le conducteur de la locomotive de manœuvre BB 64 637 a commencé à manœuvrer vers 14 h. L'engin est initialement garé sur la voie 9 du côté du poste T (**figure 29**). Le conducteur manœuvre les aiguilles de manière à ce que l'engin puisse s'accrocher sur la voie 18 avec l'élément UM de G1206, les wagons de ballast et les véhicules DGS, puis sur la voie 16 avec les véhicules MFS, enfin sur la voie 13 avec l'élément SVB800 et le premier véhicule MFS. L'élément UM de G1206 et les véhicules de transport de traverses de la voie S1 étant prépositionnés à l'autre extrémité de la voie 13 (côté poste Q), le conducteur pousse les éléments rassemblés contre l'élément véhicules de transport de traverses. Il tire le train complet jusqu'à limite du passage planchéié à proximité du poste T.

À chaque mouvement un agent de manœuvre procède à l'attelage et à la mise en pression de la conduite générale. Cette opération est visible depuis son poste de conduite.

Le conducteur assure l'essai de frein complet du train sur la voie 13, puis déplace le train complet de quelques dizaines de mètres pour le positionner en amont du poste T, prêt au départ. Il désaccouple sa locomotive et gare son engin moteur sur la voie 9 du côté du poste T.

Le conducteur précise qu'au cours de ses manœuvres, il n'a jamais détecté d'effort anormal de retenue, notamment lors du déplacement du train complet.

Témoignage du conducteur de tête

Le conducteur de tête conduit l'UM de tête dans le sens de circulation en acheminement. Habilité depuis 2017 à conduire les trains de travaux et les trains de marchandises sur tout le réseau ferré national, il a intégré ETF Services en janvier 2021 et a eu son dernier accompagnement par son encadrant au cours du chantier RVB d'Angoulême quelques semaines avant l'incendie.

Le conducteur dispose de deux radios (poste radio de manœuvre SNCF et poste GSM-R sur les deux engins moteurs) permettant notamment de communiquer avec le conducteur de pousse. Le GSM-R fonctionnait correctement.

Le 28 mai 2021, il a pris son service à 15 h avec deux heures d'avance.

Il est en pousse pour le mouvement du train préalablement formé sur la voie de service de Brive-Estavel jusqu'à se présenter devant le carré C 120 pour partir en ligne. Il avait pour mission d'effectuer les vérifications et essais d'usage sur les deux engins moteurs à la queue du train dont il avait la responsabilité. Il a réalisé l'essai de frein de « continuité » avec le conducteur de pousse.

La préparation du train s'est correctement déroulée : contrôle des niveaux, mise en route des engins moteurs, présence du bulletin de freinage du train et des fiches AMOR, essai de frein de « continuité » satisfaisant et déplacement du train jusqu'à la mise en position de départ devant le carré C120 de Brive-la-Gaillarde.

Lors du changement de bout du train, un problème survint sur l'un des engins de l'UM de pouste. Le conducteur de pouste interrompt la continuité de la conduite générale, puis arrête et relance ses deux engins. Le conducteur de tête a alors réalisé à nouveau l'essai de frein de « continuité » avec son aide.

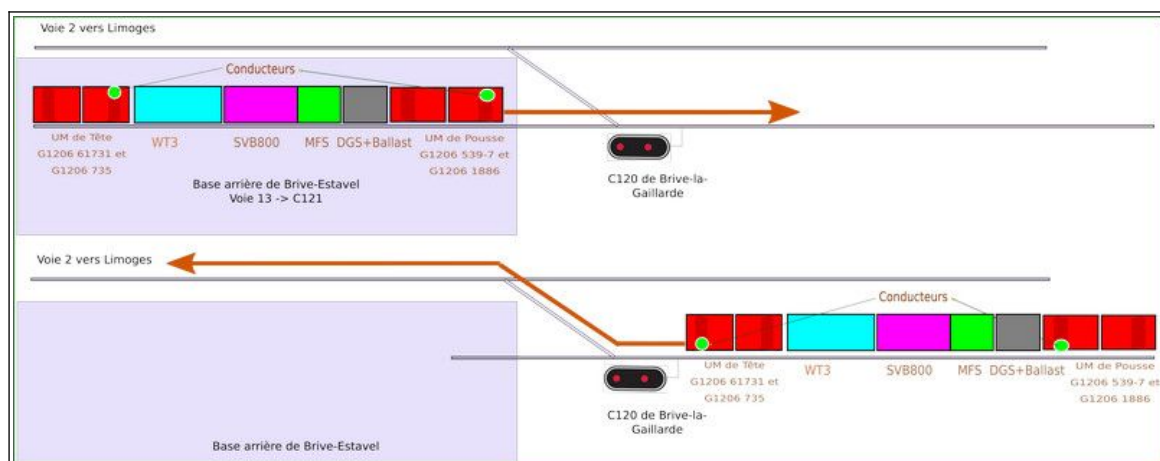


Figure 29 : Mouvement de mise en ligne du train SVB800 (BEA-TT)

À 18 h 50, le train est prêt au départ devant le C 120 avec quarante minutes de retard.

À 19 h 15, le train quitte Brive-la-Gaillarde en direction de Limoges sur la voie 2. Le train prend de la vitesse jusqu'au Pk 494 afin d'être dans les meilleures conditions pour attaquer la longue rampe. Le point bas franchi, la pleine puissance des quatre engins est commandée. La vitesse moyenne dans la rampe se stabilise à 30 km/h²² jusqu'au passage du point haut de La Porcherie. Il est vigilant quant au risque d'immobilisation en ligne si les conditions d'adhérence devenaient défavorables.

Le conducteur de tête croise trois trains de voyageurs sur la voie contiguë au cours de sa montée, sans signalement d'anomalie sur son train. Hormis deux signaux de limitation de vitesse, il n'a rencontré que des signaux ouverts à l'indication feu vert fixe. Il profite de chaque courbe importante pour observer son train.

Le point haut franchi, le conducteur de tête interrompt l'effort de la traction et demande au conducteur de pouste de faire de même. La vitesse du train augmente sous l'effet de la pente. Dans la pente, il régule la vitesse au moyen du seul « freinage continu en modérabilité²³ » pour maintenir la vitesse à 80 km/h. Le conducteur dans ses déclarations fait état d'un nombre important de commandes de serrages suivies rapidement de commande de desserrage complets.

À Saint-Germain-les-Belles, il est aperçu par des agents qui n'ont rien signalé à son passage. Après avoir passé Pierre-Buffière, il reçoit un appel du régulateur transport par le GSM-R lui signalant que l'AC de Pierre-Buffière avait observé une « projection d'étincelles » sur plusieurs essieux et un dégagement de fumée vers le milieu du train.

22 La traction maximale aurait dû permettre une vitesse de 54 km/h

23 Le « freinage en modérabilité » n'est pas interdit dans ces conditions, même s'il n'est pas conseillé en pente de grande longueur. Le « freinage en dents de scie », réalisant des freinages prononcés et des relâchements espacés d'au moins une minute pour limiter la montée en température des semelles, est préféré par les conducteurs expérimentés afin de limiter l'échauffement des dispositifs de freinage, voire imposé par certains gestionnaires d'infrastructure pour limiter le risque de mise à feu des abords.

Le conducteur de tête déclenche le freinage d'urgence du train pour éviter de s'immobiliser sur le viaduc de la Roselle ou dans le Tunnel de Gilardeix. À ce moment, le conducteur de pouce lui demande de s'arrêter.

Le train s'arrête en 620 m, enjambant le PN 242. La tête du train s'immobilise au Pk 417,9. Le conducteur informe le régulateur du lieu de son arrêt. Il reçoit l'assurance que les deux voies sont fermées et que l'alimentation de la caténaire est hors tension. Il descend de la machine avec les agrès réglementaires pour procéder à la visite du train. Il prend les extincteurs et se dirige par la piste vers la source du dégagement de fumée. Vers le milieu du train, il voit une « flamme jaunâtre de quelques dizaines de centimètres au-dessus des essieux et un fort dégagement de fumée ».

Le conducteur pense pouvoir maîtriser le feu quand, arrivant entre 50 m et 80 m du feu, il ressent un brusque effet de souffle. Le feu devient bleu, grandit brusquement pour atteindre plusieurs mètres. Sans espoir de maîtriser le feu, il retourne s'abriter dans sa cabine. À peine arrivé, il entend la chute des fils de contact sur le toit de sa cabine²⁴.

Témoignage du conducteur de pouce

Le conducteur de l'UM de pouce est habilité à conduire les trains de ligne depuis fin 2015. Il a eu une expérience chez Eurorail, Eiffage et ETF Services. Il a eu récemment son dernier accompagnement par son encadrant.

Le conducteur de l'UM de pouce commande l'unité multiple de pouce lors de l'acheminement. Il est en communication avec le conducteur de tête.

Il a pris son service à 17 h. Les jours précédents, le train partait de Brive-la-Gaillarde à 18 h 17. Ce vendredi 28 mai, le train est parti de Brive-la-Gaillarde à 19 h 15 à la suite d'un défaut de communication entre les deux locomotives de pouce. Le conducteur a réalisé une mise hors tension des engins de pouce, une remise en marche de ceux-ci et enfin un essai de frein de continuité.

Le départ en ligne est donné à 19 h 15. Au dégagement des aiguilles de sortie de Brive-la-Gaillarde sur l'instruction du conducteur de tête, il donne toute la puissance pour prendre le maximum de vitesse. La vitesse moyenne dans la rampe est d'environ 30 km/h. Il regarde le train dès que les courbes le permettent. La circulation a été sans incident jusqu'à l'approche de Pierre-Buffière. Après cette gare, il a senti une odeur de frein serré.

Dans une courbe à gauche, il aperçoit vers le milieu du train une flamme jaune et un dégagement de fumée. Il demande au conducteur de tête d'arrêter le train.

Le train est à l'arrêt en légère courbe à gauche, il voit la flamme et le dégagement de fumée. Il pense qu'il est encore possible de maîtriser le feu et éprouve des difficultés à décrocher ses extincteurs. Il observe que subitement la flamme croît, atteignant plusieurs mètres, puis que la caténaire tombe.

Il descend de son engin pour atteindre le téléphone d'alarme à proximité du PN 242 et demande au régulateur sous-station de couper l'alimentation électrique. Celui-ci l'informe que l'opération est déjà faite. Depuis sa cabine de conduite, il voit le feu au niveau du châssis d'un véhicule, au-dessus des roues et avec le dégagement d'une fumée noire. Il se met en sécurité sur le PN 242 en attendant les pompiers. Le premier camion des pompiers arrive au PN après environ 15 min.

Témoignage de l'agent circulation de la gare de Pierre-Buffière

L'AC de Pierre-Buffière travaille à la SNCF depuis 2001 et occupe le poste d'agent de réserve sur le secteur Sud-Ouest de la Haute-Vienne. Il est amené à travailler sur une

24 Rupture des conducteurs situés au-dessus de l'incendie.

dizaine de gares. Le poste d'aiguillage est situé côté voie 1, du côté opposé au bâtiment voyageur situé voie 2. Depuis son poste de travail, il n'a aucune visibilité sur les circulations. À chaque train, il sort sur le quai pour observer leur passage.

Le 28 mai 2021, il a pris son poste à 18 h et était accompagné d'un agent en formation. Entre 18 h et 21 h, ils se sont préparés pour les travaux qui devaient débuter vers 22 h.

À 21 h 29, l'agent observe le passage du train. Il aperçoit des gerbes d'étincelles au niveau d'un bogie « *comme si l'on découpait de l'acier avec une disqueuse* », une flamme au-dessus des roues et un dégagement de fumée. Il rentre dans son poste et informe le régulateur transport de Limoges pour assurer la protection voie 2 et demander l'arrêt immédiat du train 814 538. Il ajoute qu'il s'agit sûrement d'une « *boîte chaude* », ce qui nécessite un freinage de service car un arrêt d'urgence pourrait aggraver la situation. Il enclenche la procédure « ANOT » : arrêter depuis le poste les circulations en provenance de Brive-la-Gaillarde et informer l'AC du poste de Limoges de faire de même dans le sens Limoges vers Brive-la-Gaillarde. L'AC reçoit alors un appel du régulateur l'informant que le train était en feu et arrêté.

Il ordonne au régulateur sous-station de Toulouse une coupure d'urgence sur les deux voies sur le secteur Le Bréjou – Le Repaire. Dès 21 h 34, le régulateur sous-station réalise la coupure d'urgence. Cette action est nécessaire avant toute intervention des pompiers sur voie électrifiée. Ceux-ci sont alertés dès 21 h 40 par le régulateur transport. L'AC n'a pas constaté de problème sur ce train lors des circulations précédentes des 25 et 26 mai, hormis le fait qu'il était « *systématiquement en retard* ».

Témoignages des agents de travaux

Au niveau des gares d'Uzerche (Pk 459,4) puis de Masseret (Pk 448,0), les conducteurs des éléments du train P 95 ont croisé le train Enorail sans rien observer d'anormal.

À 21 h 15, en gare de Saint-Germain-les-Belles, 15,6 km avant la gare de Pierre-Buffière, deux agents du groupement Ferroway et de la société ETF qui effectuent leur prise de service observent, depuis la voie de service n° 4, le passage du train Enorail circulant sur la voie 2 (côté gauche dans le sens de circulation du train). Ils affirment n'avoir remarqué aucune anomalie apparente sur le train.

À 21 h 30, en gare de Pierre-Buffière, 3,1 km avant le point d'arrêt du train, le prestataire de la société SFERIS alerte son responsable SNCF qu'au passage du train SVB800, il a vu des étincelles sur des bogies au milieu du train. Le responsable avise l'AC de Pierre-Buffière. Celui-ci est déjà au courant.

Témoignage d'un agent en base arrière

Il s'agit d'un agent Enorail en charge de la mise en mode acheminement de l'élément SVB800. L'agent a appliqué durant près de 2 heures les opérations requises par le référentiel du constructeur²⁵ pour la délivrance des fiches AMOR. Il assure formellement avoir vérifié l'état des verrouillages depuis le poste de commande du SVB800 (WSC) alors stationnée sur la voie 13 du chantier de Brive-Estavel. Il n'a pas observé les pressions dans les cylindres de frein des différents véhicules du SVB800. Il ne dispose pas d'un aide mémoire utilisable in situ des points à contrôler.

L'agent a précisé au BEA-TT ne pas avoir opéré de purge de la conduite principale et, par conséquent, celle du frein de travail²⁶. Il confirme les mouvements des quatre sections lors de la formation du train Enorail tels que décrits au témoignage du conducteur de manœuvre.

²⁵ Plus de 200 points de contrôles

²⁶ Cette opération prévue dans les documents du constructeur n'a pu être réalisée car au moment de la remise de l'AMOR (13 h), le train était encore en service (coupure après 13 h 30)

Témoignages des agents ayant participé à la formation du train en base arrière

Les mouvements des sections du train Enorail sur le chantier de Brive-Estavel ont été assurés par la locomotive de manœuvre BB 64 637 avec un conducteur de SNCF Réseau.

Le train Enorail était « coupé » en quatre sections. Les ordres de travail ont été levés à 15 h le vendredi 28 mai 2021 :

- la section « MFS et ballastières » ;
- la section « DGS » (engins de bourrage et de stabilisation) ;
- la section « SVB800 » (renouvellement voie ballast) ;

Initialement sur la voie S1 la section « WT3E » (traverses) avait été prépositionnée dans le prolongement de la voie 13. L'élément était en état de frein serré à l'arrivée de l'engin de manœuvre. L'élément 3 (SVB800) n'a été mis en mouvement que de quelques dizaines de mètres par l'engin de manœuvre.

L'essai de frein complet a été réalisé avec l'engin de manœuvre BB 64 637 conduit par un conducteur SNCF, par l'agent dirigeant de la base « Infralog National » de SNCF Réseau et un agent de ETF Services mis à disposition. Les deux agents se sont déplacés le long du train dans la piste du côté gauche du futur sens de la marche du train. L'agent SNCF a pris en charge le contrôle depuis le SVB800 jusqu'à la queue de la circulation.

Ils affirment formellement :

- ne pas avoir vu, chacun pour la partie de train le concernant, de semelles de freinage « rougies » ou dans un état « anormal » de quelque manière que ce soit ;
- qu'à chaque regroupement, un arrêt a permis la mise en pression de la conduite générale et la vérification du desserrage ;
- qu'à chaque regroupement d'éléments, un essai de roulage a été effectué sans que n'apparaissent des étincelles, un bruit anormal ou un effort de retenue anormal.

Ils indiquent avoir, dans la mesure de l'accessibilité des semelles, procédé à la vérification du décollage des semelles de frein.

L'agent ETF Services en charge de l'établissement du bulletin de freinage a visité les éléments dans l'ordre correspondant au sens de circulation en ligne pour établir le bulletin.

3.2.2 - Le dépouillement des enregistrements des paramètres de conduite

La locomotive de manœuvre BB 64 637 est équipée d'une bande graphique (BG), dite bande Flamand. Le relevé graphique ne peut être utilement reproduit ici.

Les engins de traction G1206 sont équipés d'un enregistreur d'acquisition et de traitement des événements de sécurité en statique (ATESS) qui sauvegarde les paramètres de conduite tout au long du trajet. Le relevé graphique de l'enregistrement ATESS est donné sur les vues suivantes. Les quatre engins avaient leur enregistrement. La comparaison des enregistrements fait apparaître un décalage de 22 s entre les bases de temps des ATESS des locomotives. Certaines pistes, comme EL17 interprétée comme une commande de freinage, disparaissent en cours de trajet en ligne sur 3 des 4 engins moteur.

Afin de simplifier l'exposé, celui-ci se limitera à l'analyse de l'ATESS des engins moteurs avec conducteur à bord (G1206 menante de tête et de la G1206 menante de queue). Afin de décrire la chronologie des événements, il a été nécessaire d'analyser plusieurs

enregistrements. Une attention particulière a été portée sur l'indicateur EL17 qui traduit l'action de freinage commandé depuis la locomotive de tête menante. L'indication EL17 qui apparaît sur les fichiers est interprétée comme une commande de freinage ou BP Urg. Il correspond en fait à une baisse de pression de la CG sous 4,5 bar.

Manœuvre pour la formation du train et essais de frein complet

La formation du train a été réalisée avec l'engin de manœuvre SNCF Réseau BB 64 637 dont la bande graphique a été analysée. Bien que difficile à lire, il a été possible d'en tirer les éléments suivants : les mouvements des sections 1 vers 2, 1+2 vers 3 et 1+2+3 vers 4 ont été réalisés du côté du poste T.

L'essai de frein complet réalisé, l'engin a mis le train en position finale et s'est éloigné.

L'engin n'a plus été utilisé le reste de la journée. Le lendemain, l'engin moteur a été acheminé vers un centre de maintenance pour une opération périodique de maintenance. L'engin n'a pu, de ce fait, être accessible aux enquêteurs qu'après plusieurs jours.

Manœuvre du train pour la mise position en tête devant le C 120

L'essai de continuité est réalisé sur tous les engins moteurs. L'engin G1206 est en tête et mène le train pour une mise en tête devant le carré C 120 de Brive-la-Gaillarde.

La commande de frein a eu lieu à 17 h 55 pour l'arrêt après dégagement du C 120. Le premier déplacement de la base arrière de Brive-Estavel jusqu'au carré C 120 de Brive-la-Gaillarde est effectué sans retenue détectée dans le train.

Les relevés ATESS de l'engin G1206 menant de tête pour le trajet de Brive-la-Gaillarde jusqu'au lieu de l'incendie fait l'objet des **figures 30 et 31**. Le tableau suivant supporte l'analyse chronologique des événements. Il permet d'appréhender d'une part, l'évolution de Brive-Estavel à Brive-la-Gaillarde, et, d'autre part, la marche vers Limoges. Le train a rencontré sur son trajet deux tableaux indicateurs de vitesse à distance (TIV.D) à 80 km/h puis à 60 km/h.

Les points remarquables suivants peuvent être notés :

- Utilisation de la surcharge. La réglementation des conducteurs pour la réalisation de l'essai de frein complet comme de continuité prévoit l'utilisation de la surcharge. Aucun élément probant permet de mettre en doute les déclarations des conducteurs qui font état de l'utilisation de la surcharge. Il est regrettable que le système ATESS n'enregistre pas les alimentations en surcharge des freins, ni la valeur de la pression de la CG, informations disponibles sur l'engin moteur. Ce point ne favorise pas l'identification des actions du conducteur et le respect des procédures de conduite et des règles de l'art. Cette difficulté est assez récurrente dans les retours d'expérience sur incident et accident.
- Le conducteur n'a rencontré aucune gêne dans son avancement, tous les signaux étaient ouverts au Pk 462. Il rencontre une LTV 60 (limitation temporaire de vitesse).
- Dans la descente sur Limoges, il utilise le freinage en modérabilité du Pk 430 à 423 afin de maintenir sa vitesse proche de 80 km/h (avec un dépassement maximal de 5 km/h). On remarque que seule une commande de freinage est enregistrée à 21 h 21 sur la locomotive de tête. Ceci implique par conception du robinet du mécanicien qu'une dépression minimale de 0,5 bar a été commandée (réservoir de première dépression RPD). Par conception il est possible de faire varier la pression dans la CG jusqu'à 4,8 bar, au-delà une commande de desserrage complet est automatiquement réalisée. Pour obtenir une vitesse oscillant entre 78 et 82 km/h dans la pente de 10/1000 pendant 5 min 42 s, soit pour parcourir 7,960 km, il est nécessaire de faire varier en permanence la valeur de la dépression. On remarque que sur l'ATESS aucun

desserrage complet du train n'est enregistré sur ce parcours final. Il est donc vraisemblable que la CG n'ait jamais atteint la valeur de 5 bar (ni même 4,8 bar). Les déclarations du conducteur indiquent qu'il a réalisé de nombreuses utilisations du frein sur ce même parcours. Il est possible que ces actions de serrages et desserrages successifs, effectués à intervalle court, aient créé, par l'opposition des ondes de commande²⁷ dans la CG du train, un **report de freinage** sur la partie centrale du train.

- Le système ATESS n'enregistre pas les actions sur le manipulateur de frein et la valeur de la CG. Ce point ne favorise pas l'identification des actions du conducteur et le respect des procédures de conduite comme des règles de l'art.
- Le freinage d'urgence a été efficace, le train s'est arrêté en 652 m en pente de 10/1000.
- La vitesse moyenne dans la rampe à 10/1000 est de 30/km/h ; celle-ci est faible au regard de la motorisation additionnelle et de la réduction de la masse du train par rapport à la composition des marches antérieures.

Afin de mieux apprécier ce constat, les **figures 30 et 31** proposent une représentation conjointe du profil de la ligne, de la vitesse enregistrée depuis le départ du train et des zones de traction et freinage à l'approche du point d'arrêt final du train.

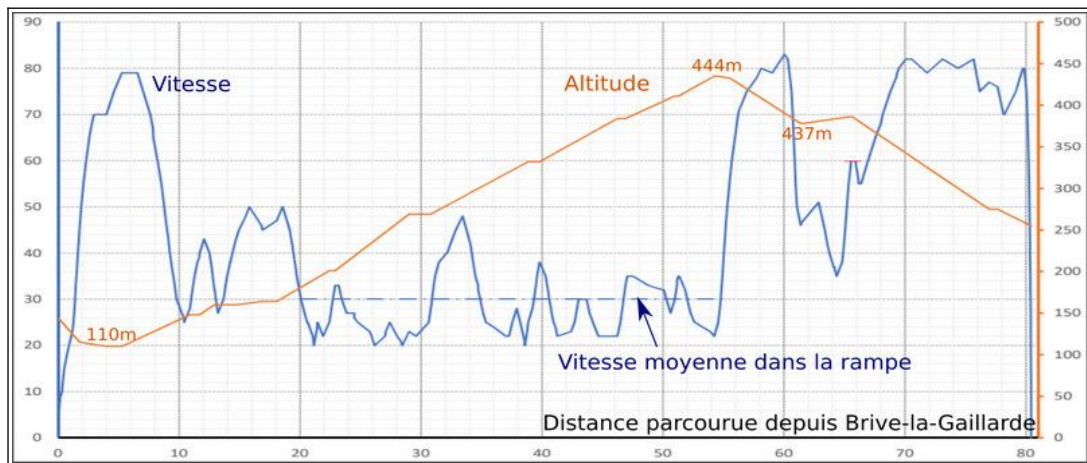


Figure 30 : Profil de ligne et vitesse lors de la circulation voie 2
Brive-la-Gaillarde à gauche → Point d'arrêt du train à droite (BEA-TT)

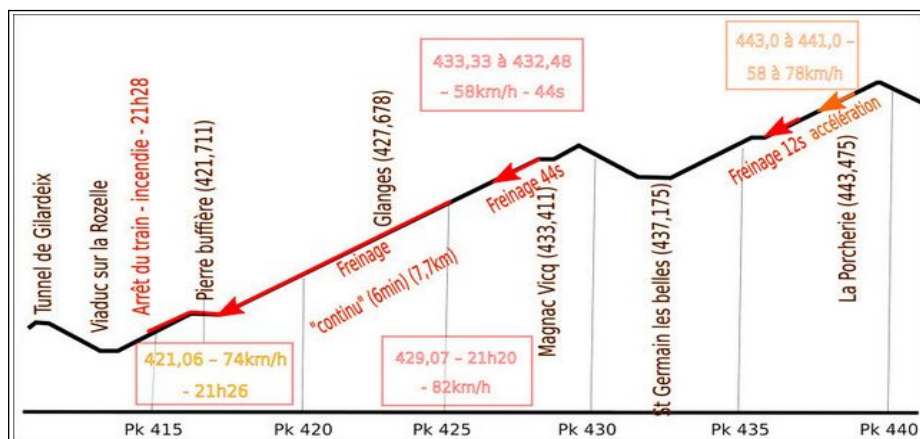


Figure 31 : Profil en long sur la fin du trajet avec zones de freinage et traction selon l'ATESS de l'engin de tête
Point haut de La Porcherie à droite → Point d'arrêt du train à gauche (BEA-TT)

²⁷ Ondes avant et ondes arrière par réflexion sur l'extrémité de la CG – les deux types d'ondes se croisent et peuvent créer à ce moment des pics ponctuels de sous-pressions pouvant être interprétés par les distributeurs comme des ordres de freinage – celui-ci sera maintenu jusqu'à retour de la pression normale de la CG à 5 bar

Temps	Pk ou Lieu	Événement
1	Pk 499,9	Brive-la-Gaillarde : départ sur V2 et prise de vitesse favorisée par une pente à 10/1000 pour atteindre 55 km/h en 5,5 km.
19 h 26	Pk 492,5 (+7,4 km)	Ussac , vitesse de 79 km/h après mise en mouvement du train puis une perte de vitesse due au profil après la gare. Durant la montée jusqu'au point haut de La Porcherie, la vitesse s'établira à une moyenne de 30 km/h (entre 21 et 50 km/h)
20 h 32	Pk 459,8 (+40,1 km)	Uzerche , vitesse de 37 km/h
21 h 04	Pk 443,5 (+56,4 km)	La Porcherie , vitesse de 25 km/h à 54,6 km après la mise en mouvement.
21 h 07	Pk 441,0 (+58,9 km) Repère A	Poursuite de la traction dans la pente du Pk 443,5 au Pk 441,5 par la seule UM de tête (par opposition aux trajets des 25 et 26 mai où les deux UM avaient tracté) jusque 21 h 07 à 70 km/h en pente de 10/1000.
21 h 09	Pk 438,64 au Pk 437,18	Essai de freinage dynamique par le conducteur de tête durant 22 s abaissant la vitesse de 80 à 50 km/h malgré la pente de 10/1000.
21 h 10 12 s	Pk 439,08 (+60,8 km)	Freinage pour respect de la LTV (limitation temporaire de vitesse) à 60 km/h [serrage de 108 seconde]. La vitesse est de 80 km/h au Pk 439,08.
21 h 12 00 s	Pk 437,20 (+62,7 km) Repère B	Réalimentation de la CG réalisée au Pk 437,2- la vitesse du convoi est de 47 km/h.
21 h 12	Pk 437,175	Saint-Germain-les-Belles , vitesse 47 km/h.
21 h 17 12 s	Pk 433,36 (+66,5 km)	Freinage entre les Pk 436,130 et 434,850 durant 48 s pour abaisser la vitesse de 51 km/h à 37 km/h dans la pente à 10/1000 à proximité de Magnac-Vicq .
21 h 18 08 s	Pk 432,48 (+67,4 km) Repère C	Réalimentation de la CG à la vitesse de 61 km/h. La vitesse croît de 61 à 80 km/h en 3 min 13 s.
21 h 23 54 s 21 h 29 36 s	Pk 429,07 au Pk 421,20 (+70,8 à 78,7 km) Repère D	Freinage en modérabilité à partir de la gare de Glanges [Freinage constant avec dépression minimale pour maintenir la vitesse entre 78 et 82 km/h dans la pente de 10/1000 pendant 7,960 km soit 5 min 42 s avant desserrage] jusqu'à 21 h 29 min 36 s pour maintenir le train à vitesse de ligne dans la pente. La vitesse du convoi oscille néanmoins entre 78 et 82 km/h.[Pk 429,07 à 421,20 21 h 20 min 12 s à 21 h 27 min 08 s]
21h26 30s	Pk 421,711 (+78,2 km)	Pierre-Buffière , vitesse 77 km/h à 56,5 km du départ et 15,46 km depuis Saint-Germain les Belles.
21h28 40s	Pk 419,37 (+80,5 km)	Freinage d'urgence : action BpUrg sur BB 61 731 tête menante à une vitesse de 76 km/h [CG<2,5 à 21 h 28 min 50 s (t+10 s) G1206 5397 pousse menante : 10 s pour que la dépression se propage] [SAL à 21 h 34 min 22 s, soit après 5 minutes d'arrêt et arrêt à 21 h 34 min 38 s et SAR de 21 h 34 min 32 s à 38 s, soit moins de 10 s]
21h29 22s	Pk 418,64 (+81,3 km)	Arrêt du train après 42 s de freinage au Pk 418,64 (620 m de freinage d'urgence)

Relevés ATESS - Avancement en ligne jusqu'au lieu d'arrêt d'urgence (BEA-TT)

Éléments de comparaison de la marche du 28 mai 2021 avec celles précédentes :

La vitesse moyenne enregistrée dans la rampe de 10/1000 est de 30 km/h avec des engins de traction de tête et de pouce en pleine puissance. Le calcul de la vitesse théorique au regard de la puissance des engins de traction, de la masse du train et de la rampe donne une vitesse théorique de **45 km/h (figure 32)**.

Cette réduction de vitesse montre l'existence d'un effort supplémentaire de retenue et une insuffisance de traction dont les effets n'ont pas été détectés par les conducteurs. Ce constat explique la faible variation de vitesse dans la rampe à 10/1000 de Brive-la-Gaillarde à La Porcherie : variation de 20 % de la vitesse moyenne dans la rampe alors que la force de traction a été augmentée de 25 % et la masse du train réduite de 13 %²⁸. Le fait de monter à une vitesse proche des jours précédents aurait pu alerter les conducteurs.

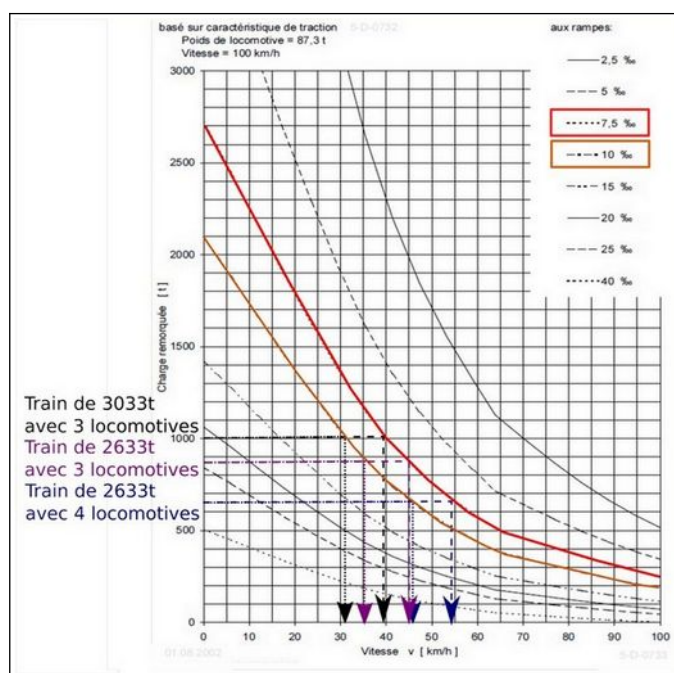


Figure 32 : Calcul de la vitesse théorique du train dans une rampe moyenne de 7,5/1000 (Vossloh modifié BEA-TT)

Il est avéré, au regard de la consommation du gas-oil et des relevés télémaintenance, que l'une des locomotives de pouce n'a pas tractionné lors de la montée de la rampe²⁹. Pour autant, les simulations numériques montrent qu'il y a eu cumul des effets de l'effort de retenue initial et de la traction ainsi réduite.

La comparaison des marches des 25 et 26/05/22 avec celle du 28/05/22 indique que :

- Le 26/05/2021, lors du freinage préparatoire à la LTV 60, la vitesse du train chute à 18 km/h. La machine de pouce tractionne alors à 100 % afin de reprendre rapidement de la vitesse après le dégagement de la zone de LTV ;
- Le 28/05/2021, lors du freinage préparatoire à la LTV 60, la vitesse du train chute seulement vers 37 km/h. La machine de pouce ne tractionne plus lors de la reprise de vitesse, ce qui explique la plus lente augmentation de la vitesse. La machine menante de pouce a arrêté la traction après le passage du point haut de La Porcherie (**annexe 4**). Le conducteur a freiné à 21 h 17 min 12 s pour respecter la vitesse de 60 km/h, ce qui ne s'était pas produit lors des marches précédentes. L'effort de retenu

²⁸ Avant la rampe, la vitesse et la puissance de traction étaient similaires

²⁹ La locomotive de pouce menée s'est mise en protection quand la commande de pleine traction a été donnée

initial aurait disparu après l'essai de frein dynamique, ce que les simulations numériques confirmeront.

Concernant le freinage en modérabilité il convient de constater que :

- le 25/05/2021, il a été réalisé durant 15 min 16 s³⁰;
- le 26/05/2021, il a été réalisé durant 10 min 54 s³¹;

sans qu'aucune altération du système de freinage n'ait été, aux dires des opérateurs, constatée (semelles...).

Le 28/05/2021, la vitesse moyenne du train dans la rampe est trop faible au regard des masses tractées et des puissances mises en œuvre, montrant l'existence d'un effort anormal de retenue au départ de Brive-la-Gaillarde. Le freinage en modérabilité du 28/05/2021 d'environ 6 minutes, n'a pu à lui seul occasionner un échauffement tel que les systèmes de freinage en soient altérés.

Chronologie des opérations de mise en véhicule du SVB800 :

13 h 00 – restitution de l'AMOR

13 h 15 – restitution des autorisations de travail

13 h 30 – arrêt de l'automate de travail du WSC.

3.2.3 - Les dommages au train accidenté

Les véhicules incendiés

L'incendie a détruit plusieurs véhicules de l'élément SVB800. L'intervention efficace des sapeurs-pompier a permis de stopper la propagation du feu aux autres véhicules. Ceux-ci comportaient de nombreux flexibles d'huile hydraulique et, en partie haute, des tapis de roulement en matière combustible. Les véhicules impliqués sont :

- Véhicule MW2 : véhicule le plus en avant du train dans le sens de la marche, il n'est que partiellement incendié même si la cabine en aluminium a brûlé ;
- Véhicule STM : véhicule derrière le véhicule MW2, il a complètement brûlé ;
- Véhicule SBM : véhicule derrière le véhicule STM, il n'a que très partiellement été touché (au niveau des tapis de convoyage du ballast).

Les **figures 33 et 34** montrent l'état des véhicules impliqués dans l'incendie.

30 De 79 km/h à 37 km/h durant 9 min 44 s

31 De 83 km/h à 50 km/h durant 10 min 10 s



Figure 33 : Conduits hydrauliques calcinés entre les véhicules MW2 et STM (BEA-TT)



Figure 34 : Bogie 17 du véhicule STM et conduits hydrauliques rigides à sa verticale (BEA-TT)

La structure sous la cabine n° 5 est intacte. La cabine en aluminium du véhicule MW2 est consumée par le haut, sans altération du bogie 16. L'analyse de l'état des semelles et des peintures des roues confirme ce fait.

Les pare-étincelles du bogie 17 ont été consumés sous l'effet de l'incendie. L'oxydation de la partie métallique intérieure du bogie L33-L34 permet de dire que le feu a été le plus violent (durée et température) à ce niveau. Les experts feu de SNCF Réseau consultés considèrent que l'on peut en déduire que le point de départ du feu est située à cet endroit. Par comparaison, il est possible d'observer des traces de peintures encore présentes, donc non consumées, au niveau des autres bogies des autres véhicules en feu, notamment côté des essieux L31-L32 et L35-L36.

Les dommages aux semelles, roues et pare-étincelles du SVB800

L'état des semelles de freinage

De nombreuses semelles de freinage ont été altérées durant le trajet (**annexe 5**). Leur changement de couleur (vers le rouge) et les fissurations apparentes traduisent le fait qu'elles ont subi un échauffement très important. Au regard de leur couleur finale, la température a dû atteindre 800 à 900 °C. L'observation de l'état des semelles conduit à noter que :

- les semelles « rougies » ne se retrouvent pas uniquement sous les véhicules incendiés (**figure 35**) ;
- les huit semelles (deux semelles par roue) d'un même bogie sont toujours dans un état similaire ;
- les semelles des bogies impactés correspondent à sept des neuf distributeurs de l'élément SVB800 (les distributeurs n°1, 2, 5³², 6, 7, 8, 9) ;
- Le bogie 11, équipé d'une bâche souple non englobante, ne fait pas apparaître de semelles ayant subi un échauffement.

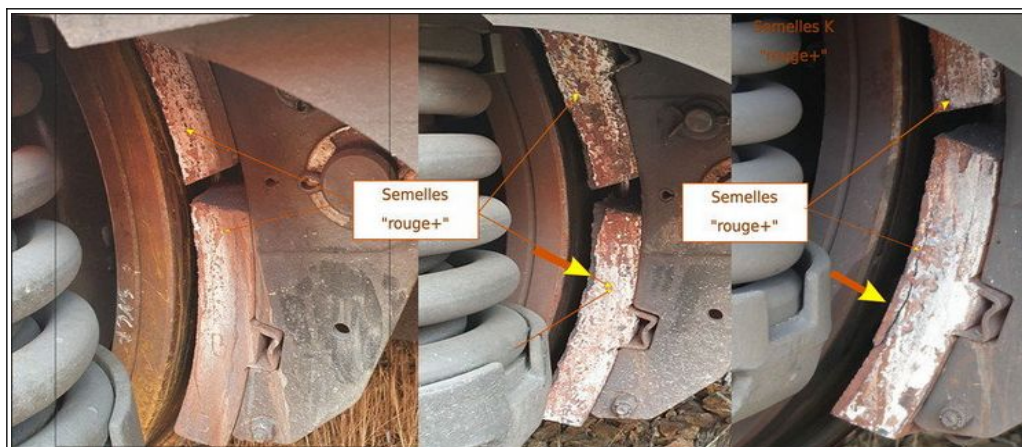


Figure 35 : « Semelles composites K CoFren 333 » en état « rouge » sur les roues 01, 69 et 80 du SVB800 (BEA-TT)

L'état des peintures du voile des roues

L'état des voiles de roues du train immobilisé (**annexe 5**) conduit à noter que :

- un décollement de la peinture des roues traduisant que la température a dépassé les 350 °C (**figures 36 et 37**) apparaît concomitamment aux semelles altérées ;
- des craquelures apparaissent concomitamment sur les pare-étincelles ;
- le voile des roues de l'essieu 11 équipé d'une bâche souple de protection présente une peinture et des semelles en bon état.

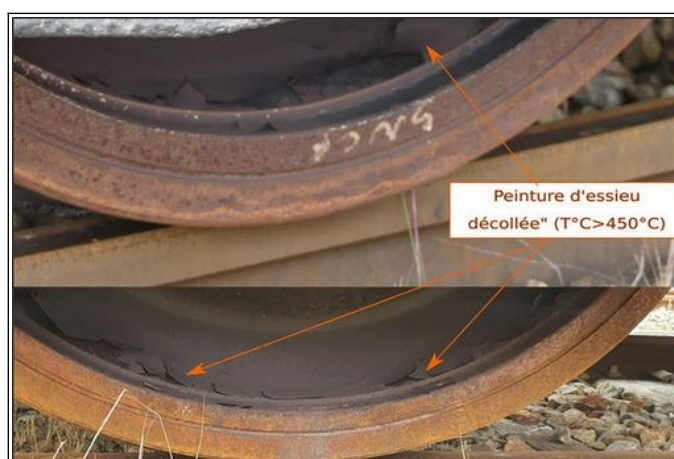


Figure 36 : Peinture roues SVB800 – état « avec décollements » de peinture (BEA-TT)

32 Seul le bogie 12 présente des semelles rougies, à la différence du bogie 11 commandé par le même distributeur. Les semelles du bogie 11 sont les seules de type ABEX 229



Figure 37 : Peinture roues SVB800 – état avec peinture incendiée (BEA-TT)

L'état des pare-étincelles et des bâches souples de protection

Il apparaît plusieurs états finaux de pare-étincelles :

- calcinés sans rigidité : les fibres de verre sont encore présentes, l'enrobé a été consommé, a perdu toute rigidité, la matière peut être retirée à la main ;
- calcinés sans traces d'arrachage : la structure du pare-étincelles est reconnaissable, la partie la plus proche des semelles de freins est consommée ;
- calcinés avec traces d'arrachage : la structure du pare-étincelles est reconnaissable, les parties consommées sont plus circonscrites ;
- présents intacts ou quasi intacts (existence de craquelures), même en présence de semelles de freinage « rougies ».

Les pare-étincelles associés à des roues présentant des altérations de peinture et des semelles rougies ont été arrachés avant le déplacement du train incendié. Les pare-étincelles du bogie 17 (essieux L33 et L34) ont été calcinés. Aucune trace de la « bâche souple de protection » n'a pu être retrouvée dans les pièces et déchets collectés.



Figure 38 : Pare-étincelles tombé (essieu non déterminé), piqué et resté en place (L37) (BEA-TT)

Point de départ du feu

Seules les semelles de frein d'une vingtaine d'essieux de l'élément SVB800 du train Enorail ont été portées à des hautes températures par frottement sur la roue. Le système de freinage du bogie 17 du véhicule STM a provoqué un fort rayonnement thermique et des gerbes de matières en fusion à température très élevée vers l'intérieur du véhicule.

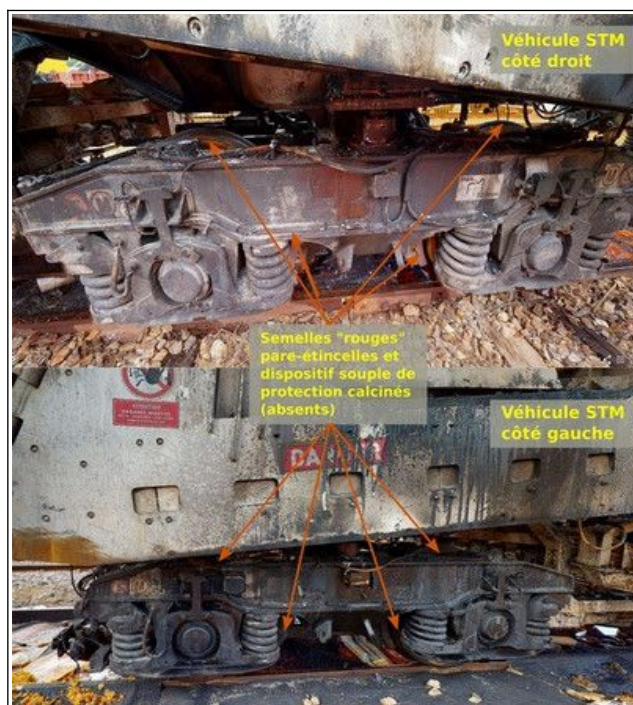


Figure 39 : Essieux L33-34 du bogie 17 du véhicule STM (BEA-TT)

Le bogie 17 est le seul à avoir des semelles particulièrement altérées. La bâche souple en position repliée repose sur les pare-étincelles couvrant intégralement le bogie. Les moyens de fixation sur le châssis du véhicule STM de la bâche souple sont (**figure 40**) :

- de manière permanente, les plaques métalliques devant enserrer la bâche (repère A sur la figure) ;
- lors des acheminements, de l'autre extrémité de la bâche, les anneaux de fixation et la manille les reliant (repère B de la figure).

Les pare-étincelles ont été arrachés afin de permettre d'évacuer le train incendié vers la base arrière de Limoges.

La bâche souple a été totalement consommée.

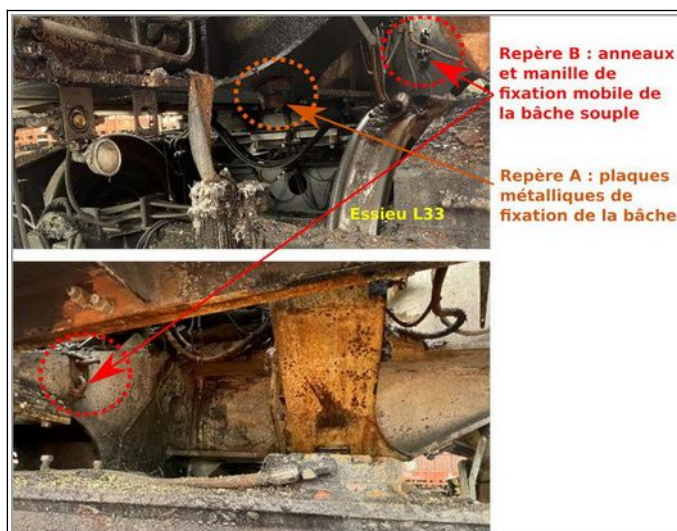


Figure 40 : Fixations de la bâche souple amovible du bogie 17 (Essieux L33-34 du véhicule STM)

La **figure 40** illustre les dégâts occasionnés par l'incendie à proximité du bogie 17.

L'**annexe 5** montre les températures relevées sur site 3 h 30 après l'immobilisation du train, sur les semelles de frein et sur les essieux de l'élément SVB800. Il apparaît une correspondance entre les distributeurs et les essieux aux températures anormalement élevées dans ces conditions :

- Les distributeurs 2 à 4 : les températures mesurées sont quasiment à la température ambiante (environ 25 à 30 °C) ;
- Les distributeurs 1, 5 à 9 : les températures des essieux et des semelles de frein sont environ deux fois plus élevées ;
- Le bogie siège du départ du feu est le seul à être recouvert d'une « bâche souple » amovible disposée directement sur le pare-étincelles et la partie supérieure du châssis du bogie. La bâche se trouve de ce fait à environ 50 mm du plan de roulement des roues.

La propagation du feu

En considérant la naissance du feu au niveau de l'intérieur du bogie 17 du véhicule STM, le train étant en mouvement à une vitesse de 80 km/h, la chaleur se déplaçait vers la partie arrière du train ce qui a activé les parties combustibles. Il s'agit notamment de la bâche souple, les flexibles d'huile³³, puis l'huile elle-même. Il s'agit d'une huile dont le point éclair est 240 degrés (huile Panolin³⁴). Les flammes produites en continu ont accéléré la phase de croissance du feu et ont accéléré également la dégradation des flexibles d'huile, ce qui eut pour effet d'apporter de la matière combustible supplémentaire. À ce stade, de l'huile dans les flexibles a dû atteindre une température supérieure à celle de son point éclair.

Une fois le train arrêté, les vapeurs d'huile qui n'étaient plus dispersées dans l'air (vaporisation de l'huile) grâce à la vitesse se sont très rapidement embrasées. La température du feu était alors très importante, environ 1 000 °C, en considérant le pouvoir calorifique élevé de l'huile. Le feu s'est alors propagé notamment par rayonnement aux véhicules MW2 et SBM situés de part et d'autre de celui origine du feu. Puis le feu a atteint les liens hydrauliques, entraînant l'écoulement³⁵ de plusieurs milliers de litres de huile Panolin sur les sections en feu. Ensuite, le feu a atteint les convoyeurs en caoutchouc et s'est propagé par eux vers l'arrière et l'avant du train en partie haute.

Sous l'effet de la température élevée, la tôle d'aluminium³⁶ de la cabine du véhicule MW2 a fondu. Il est observé de surcroît la présence d'une goulotte support des flexibles d'huile, placée entre le véhicule STM et la cabine n° 5 du véhicule MW2, la pente étant légèrement vers la cabine. Nous pouvons supposer que de l'huile en combustion s'est de ce fait versée dans la cabine. Le feu ne s'est pas propagé au-delà de la paroi de séparation d'avec le réservoir d'huile par l'effet combiné de son degré coupe-feu et de l'intervention efficace des sapeurs-pompier.

Le dégagement du train

Pour rapatrier le train calciné à vitesse réduite sur le chantier de Limoges, il a été nécessaire de retirer les pièces calcinées pouvant éventuellement s'opposer à son mouvement. Il s'agit notamment de l'arrachage des pare-étincelles dégradés, de la dépose des conduits hydrauliques, notamment entre les véhicules MW2 et STM...

33 Les flexibles hydrauliques sont de classe R22 et R23 selon la norme EN 45 545

34 L'huile de Panolin, bien qu'inflammable avec un point éclair à 240°C, n'est pas classée pour le transport comme une marchandise dangereuse par le RID

35 Le réservoir de 5650 litres d'huile est à une altitude supérieure aux conduits hydrauliques sous le feu

36 Température de fusion de l'aluminium : 660 °C

L'état des distributeurs

Les caractéristiques des distributeurs ont été individuellement testées sur le site de Limoges puis en laboratoire selon les normes VPI³⁷. Il n'apparaît pas d'écart avec les performances requises. Les distributeurs ne font pas apparaître « d'effet de lot » qui pourrait constituer un mode commun.

Les constats opérés permettent d'avancer les considérations suivantes :

- les correspondances entre les champs d'action des distributeurs et l'état calorimétrique des semelles et essieux, l'état colorimétrique des semelles de freinage, l'état des peintures des voiles de roues, montrent avec certitude que cinq des neuf distributeurs de l'élément SVB800 du train Enorail ont été simultanément mis en action de manière indue ;
- cette mise en action a occasionné un échauffement important des organes de freinage et des roues, échauffement antérieur au freinage en modérabilité de la fin du trajet ;
- cette mise en œuvre indue ne peut être que le fait d'un « mode commun » touchant cinq des neuf distributeurs du SVB800. Au regard de leur âge, le taux de défaillance d'un distributeur est très faible, l'occurrence d'une défaillance simultanée de cinq distributeurs sur neuf peut être écartée ;

Plusieurs « modes communs » pourraient être envisagés :

1. une « surcharge » réalisée de manière insatisfaisante préalablement au départ du train (durée de l'essai de frein complet anormalement courte) ou une surcharge se révélant insuffisante pour éliminer une surcharge établie antérieurement à la préparation du train ;
2. un déclenchement intempestif du frein direct favorisé par la non-purge de la conduite principale et une fuite sur plusieurs robinets d'isolement. L'analyse des enregistrements réalisés à bord avant la mise hors tension du SVB800 permet d'éliminer la manœuvre erronée de 5 robinets d'isolement ;
3. une alimentation accidentelle des cylindres de frein par le frein de travail favorisée par la non-purge de la conduite principale.

Dans l'état des investigations et face à l'absence d'enregistrements de pression dans les conduites, aucune piste ne peut clairement être démontrée.

- Dans le premier cas, le défaut de surcharge toucherait la totalité des distributeurs du SVB800. Les disparités entre distributeurs peuvent induire des pertes de pressions dans le temps, en particulier lors de stationnements de longues durées. Dans le cas d'un phénomène de surcharge, celui-ci a pu se produire largement en amont des opérations de mise en convoi. Les réservoirs complémentaires (RC) peuvent donc cependant avoir une fuite infime qui sur une durée longue peut faire chuter plus ou moins la pression de certains RC. Les essais montrent qu'une perte de seulement 14,4 mbar/h a été mesurée.
- Dans le deuxième cas, le cadenassage avéré de la totalité des robinets d'isolement sur les véhicules interdit cette possibilité.
- Dans le troisième cas, la mise à l'air de la conduite du frein de travail se fait par deux dispositifs qui ont été expertisés sans présenter d'altération. Ce qui interdit cette possibilité.

L'exploitation des différentes données antérieurement évoquées conduit le BEA-TT à retenir que le train était soumis à une mise en action intempestive des freins sur la seule partie SVB800 qui s'est exercée dans la rampe. Ceci a provoqué une montée en température des semelles de freins des bogies 1, 2, 5 à 9 du SVB. Il n'a pas été possible d'en identifier avec certitude l'origine.

37 VPI-EMG-07 Maintenance des wagons de marchandises - Freins - Édition 4.1 Publié : 01/2022

3.2.4 - Les dommages à l'infrastructure

Les abords n'ont été calcinés qu'à proximité immédiate des véhicules incendiés (**figure 41**). Cet état de fait est à porter au profit de SNCF Réseau dont le traitement des abords a été efficace et conforme aux attendus³⁸.

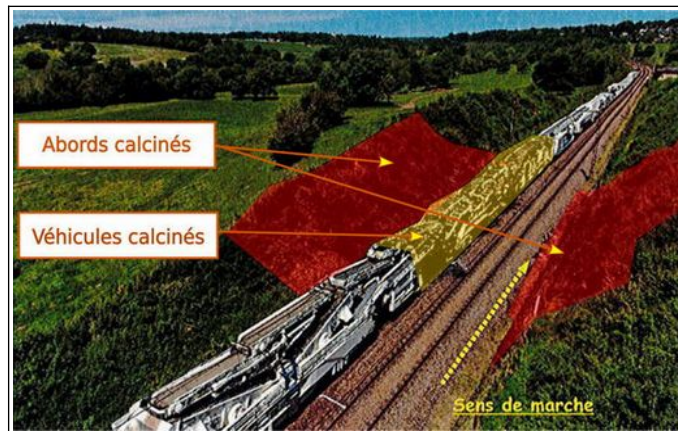


Figure 41 : Abords des véhicules calcinés (MW + STM + SBM)

La voie ferrée à la verticale des trois véhicules du SVB800 incendiés a été fortement polluée, tant par les résidus de combustion que par les fuites d'huile.

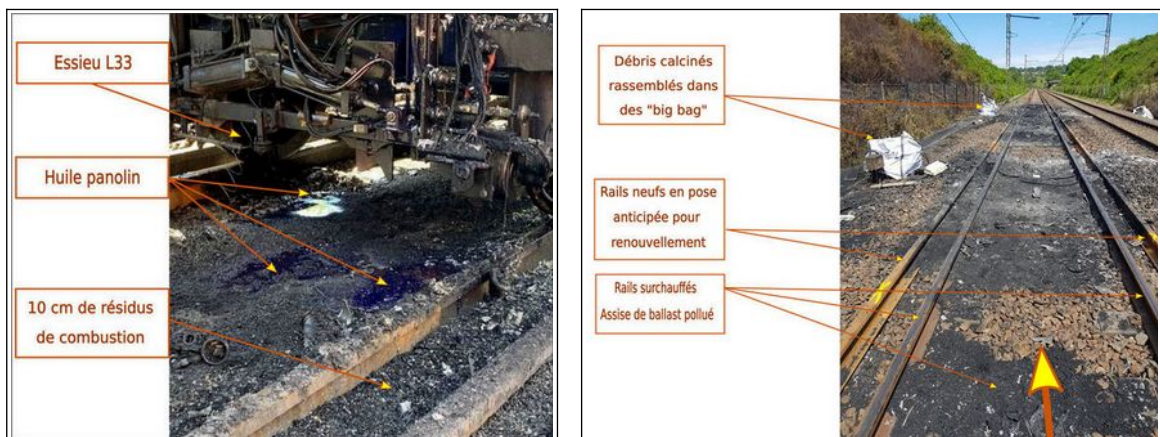


Figure 42 : État de la voie sous le train sinistré avec des fuites diverses de liquides, huiles... (SNCF - BEA-TT)

Les rails neufs prépositionnés pour le chantier de renouvellement de la voie ne sont plus utilisables pour une pose en long rail soudé. Les attaches élastiques et les isolants associés sont calcinés. La voie contiguë n'a été pas touchée.

Les équipements électriques de signalisation à la voie sous le train lors de l'incendie ont dû être remplacés. Les câbles principaux n'ont pas été atteints.

La caténaire a été totalement rompue au-dessus du véhicule STM. La rupture des porteurs et du feeder, solidaires des supports caténaire, a créé un mouvement de rotation des supports : cinq supports sont à remplacer.

³⁸ Des clôtures sont visibles de part et d'autre des voies. Elles sont utilisées pour les chèvres dans le périmètre RFN, qui assurent le débroussaillage des abords en acacia.

4 - L'analyse du fait survenu

4.1 - Les facteurs causaux de l'incendie

Dans ce paragraphe nous décrivons l'enchaînement logique, sous forme de plusieurs étapes, des événements ayant conduit à l'incendie du train ainsi que nos analyses. Les facteurs contributifs seront ultérieurement détaillés.

4.1.1 - L'équipement particulier des bogies du SVB800 et le départ de feu

Les pare-étincelles

Chaque roue du SVB800 est équipée d'un pare-étincelles fixé sur la boîte d'essieu. Sa constitution lui donne une certaine résistance au feu³⁹. Ces pare-étincelles n'avaient pas été testés, avant la date de l'incendie, sur banc de freinage⁴⁰, tant en situation de frottement léger qu'en situation d'incident de « frein serré ». Ils ont a priori été conçus pour permettre de « contenir » une forte proportion d'étincelles et les flammes potentiellement émises sous l'action des semelles composites, en couvrant le bandage des roues⁴¹. Le pare-étincelles n'a pas été conçu pour contenir les flammes mais pour canaliser les étincelles au plus proche de la roue. À cette fin le matériau retenu est qualifié EN 45 545.

Les pare-étincelles sont ouverts au-dessus des semelles de frein⁴² (**figure 43**) et laissent passer, pour les roues « avant » dans le sens de la marche, les étincelles qui peuvent atteindre les éléments situés au-dessus du bogie. En conséquence, la zone inter-pare-étincelles aurait pu être couverte par un dispositif complémentaire couvrant l'intervalle et/ou rester exempte d'élément inflammable (*a minima* sur une distance de 370 mm – voir le résumé du rapport du groupe de travail JNS en **annexe 3**, publié postérieurement à la conception du SVB800). En effet, en cas de projection de matières en fusion roue/semelles, une partie de celles-ci peut échapper au pare-étincelles et être propulsée verticalement.

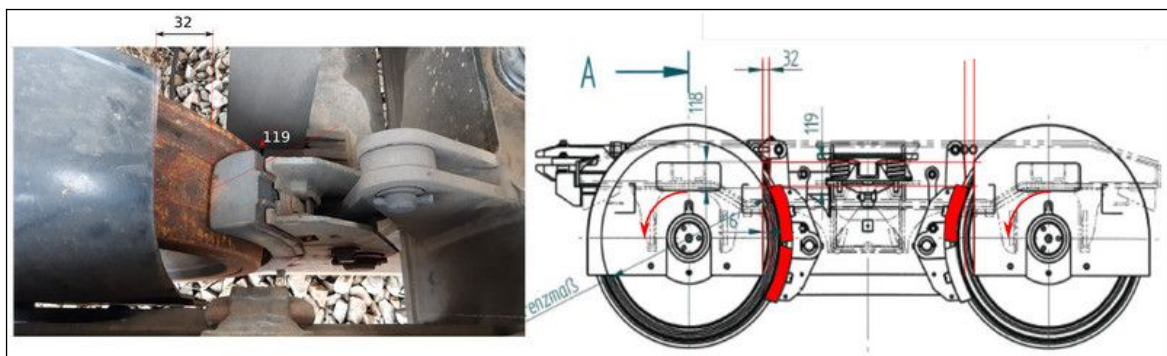


Figure 43 : Détail du pare-étincelles d'une roue équipée d'une la paire de semelles
(Source Framofer modifié BEA-TT)

39 Cf. qualification selon la norme EN 45 545, partie 2 (version 2016)

40 Ces essais sont prévus par la SNCF (Agence des essais ferroviaires) dans le cadre de l'expertise judiciaire en cours (premier semestre 2024)

41 La SNCF va faire procéder à des essais de nature à caractériser la vitesse de montée en température de la roue équipée de pare-étincelles et des semelles de frein en situation de frottement léger.

42 L'extrémité supérieure de la semelle de frein la plus proche se trouve à 32 mm en latéral et 118 mm en vertical de l'entrée du pare-étincelles.

Les dispositifs de protection

Les bogies soumis en régime de travail à des chutes de ballast et autres matières grasses sur les organes de frein sont équipés de :

- **tôles métalliques** sur les bogies 8 et 12. Ces tôles ont été mises en place à la construction afin de protéger les organes des bogies des chutes de matières grasses et de ballasts ;
- **bâche souple supplémentaire** en divers matériaux sur les bogies 11 et 17. Ces bâches souples reposent sur les longerons du bogie et la partie supérieure des pare-étincelles, ainsi qu'au-dessus des semelles de frein modifiant la circulation d'air et confinant la chaleur. Elles peuvent en cas de « frein serré » être soumises à de potentielles projections de gerbes d'étincelles à haute température, ou a minima à un fort rayonnement thermique.

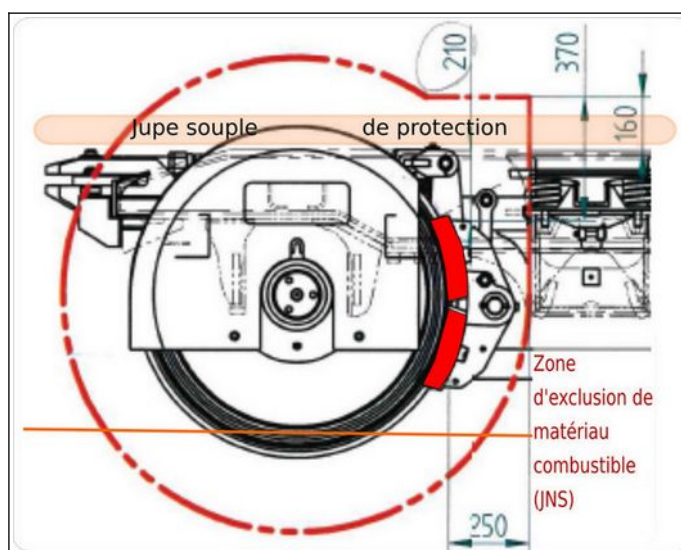


Figure 44 : Zone de dégagement requise par le rapport JNS (Framafer modifié BEA-TT)

Ces bâches souples de protection sont à l'intérieur de la zone d'exclusion de 250 et 370 mm (**figure 44**) définie⁴³ par le rapport de février 2022 du « JNS Broken Wheel⁴⁴ » (**annexe 3**) quant au risque de dommage en cas d'usage de semelles de freinage de type K ou LL. Celui-ci montre qu'il existe une zone autour de la roue et des semelles où ne doit exister aucun matériau combustible, sous peine d'un embrasement sous l'effet du rayonnement thermique voire de projections de matériaux en fusion.

Les pare-étincelles ne couvrent pas la verticale des semelles de freinage, ce qui est le cas de la bâche souple. La bâche souple peut ainsi être, en cas d'incident de frein, la cible du rayonnement thermique des roues et des semelles, de potentielles gerbes d'étincelles générées lors d'un freinage, de la possible combustion lente de la partie supérieure des pare-étincelles. Les amas graisseux sur les bâches souples et les pare-étincelles peuvent constituer de potentiels combustibles.

43 Une distance de 370 mm des semelles de freinage et de 250 mm des roues doivent être ménagées.

44 Joint Network Secretariat Urgent Procedure Task Force « *Extreme effects of thermal overload in special cases of freight operation - Final report – Part 3: Detailed information on the work of the JNS task force – 02 February 2022* ».

Les semelles de freinage de type K

Les semelles K présentent une inertie thermique sensiblement plus faible que les sabots en fonte, leur température s'élève rapidement en cas de freinage prolongé. Les essais réalisés par l'UIC, dans les conditions d'un freinage en modérabilité, montrent qu'un délai de 30 min est nécessaire aux semelles K pour atteindre une température de 450 °C. Les essais de certification montrent qu'un freinage de 10 minutes élève la température à plus de 300 °C.

La **figure 45** illustre le comportement de semelles K et roue en situation de « frein serré ».

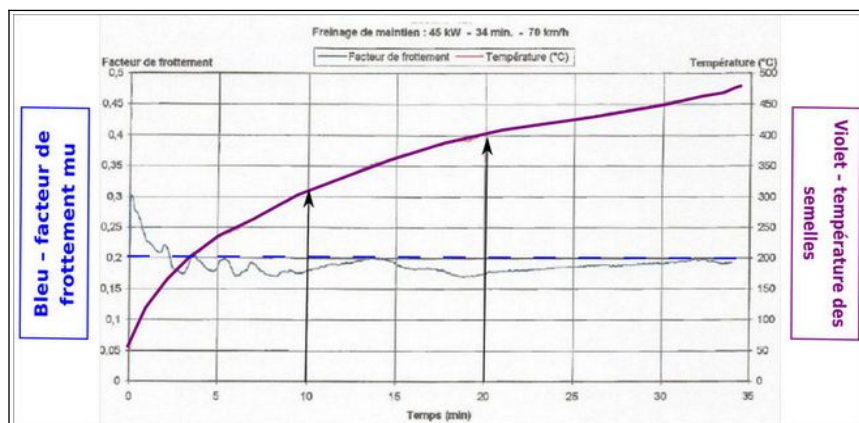


Figure 45 : Semelles K 333 – Evolution du coefficient de freinage et de la température lors d'un freinage en modérabilité prolongé (CoFren modifié BEA-TT)

Les distributeurs KE

Les caractéristiques de fonctionnement des 9 distributeurs⁴⁵ de l'élément SVB800 ont été testées sur le site de Limoges. Il n'apparaît ni écart, ni mode commun quant à leur fonctionnement.

Une stricte correspondance apparaît entre les distributeurs et les essieux aux semelles et peintures dégradées (**annexe 5**). Ainsi pour les :

- Distributeurs 1, 5 à 9 : la peinture du voile des roues est craquelée ou absente, les semelles de frein commandées par les distributeurs sont rougies et le cas échéant fissurées. L'état de ces semelles fait dire aux experts consultés qu'elles ont atteint une température de l'ordre de 900 °C ;
- Distributeurs 2 à 4 : la peinture du voile des roues et l'état des semelles sont normaux. La présence de « cloques » de décollement de la peinture du voile des roues montre que les-dites roues ont dépassé une température de 450 °C.

Le point de départ du feu

Le constat des dommages sur l'élément SVB800 nous a précédemment conduits à la certitude que le feu a pris au niveau du bogie 17 (essieux L33-L34) du véhicule STM. La prise de feu est consécutive à la présence de matériaux inflammables dans la zone d'exclusion autour du bogie 17 alors que les conditions de freinage du train ont créé un échauffement/rayonnement important ainsi que la projection de particules en fusion.

⁴⁵ Liste des distributeurs testés sur le site : G1206 n° 92 87 0 061 886-3 ETF Distributeur KELD n° 0213470168 et n° 0209070012, G1206 n° 92 87 0061 735-2F-VFLI Distributeurs KELD-E3/6 n° FUL000087 et FUL000100, G1206 n° 92 87 0061 731-1F-VFLI Distributeurs KELD-E-3/6 n° FUL000098 et FUL000085, G1206 n° 99 87 9 181 539-7 Delcourt Distributeurs KELD n° 0212040128 et 0212040129.

La conception du train permettait qu'un défaut du système de freinage (frein serré) ne puisse provoquer un départ de feu. La pose d'une bâche souple recouvrant les essieux sur laquelle pouvait se trouver des résidus combustibles a modifié la résistance du train à l'incendie. Ceci aurait dû faire l'objet d'une étude de sécurité spécifique.

4.1.2 - Les facteurs qui ont créé les conditions d'un possible départ de feu

Au-delà des éléments précédemment décrits sur la présence d'un environnement à risque sur le bogie 17 en cas de frein serré, il convient d'identifier les possibles facteurs contributifs au départ de feu qui sont de plusieurs natures.

Les facteurs résultant de la « conception » du SVB800

Le freinage en mode acheminement

Il repose uniquement sur le frein continu automatique de la conduite générale. Les freins, direct et de travail, de l'élément SVB800 doivent impérativement être totalement neutralisés. La purge des réservoirs d'air alimentant la conduite principale (CP) et la conduite d'air travail constitue un moyen absolu d'éliminer toute pression résiduelle et donc de les neutraliser en acheminement. Or, même sans purge de la CP, qu'il s'agisse du frein direct ou frein travail, il faut plusieurs niveaux de contrôle défaillants avant qu'il puisse y avoir une application des semelles : purge CP, isolement des vannes, contrôle de cohérence des vannes, manomètres CP et manomètres cylindres de frein (CF) pour le frein direct ; purge CP, 2 distributeurs air-travail, contrôle cohérence air-travail, manomètres air-travail et manomètres CF pour le frein travail. Des manomètres, permettant la visualisation de la pression dans les cylindres de frein, donnent la possibilité d'identifier depuis la cabine de supervision du SVB800 l'apparition d'un défaut avant la remise de l'AMOR lors de la mise en convoi. À partir de ce moment, l'énergie est coupée et aucun personnel n'est présent à bord.

La prévention du risque incendie en situation d'acheminement

Il est admis par la communauté ferroviaire que la principale source d'incendie pour une circulation fret comme pour une circulation d'un train de travaux (TTx) en acheminement, se situe autour des zones de contact roue-semelles des systèmes de freinage.

Ce risque est d'autant plus important que les semelles utilisées sont du type K ou LL du fait d'une montée en température plus rapide qu'avec les semelles en fonte. La coloration rouge constatée des semelles du SVB800 montre qu'une température de 800 ou 900 °C a été atteinte sur les semelles de 20 essieux du SVB800.

Quant au cloisonnement des feux à bord des véhicules, la norme EN 45545 (version 2016) a été appliquée⁴⁶. Celle-ci s'applique uniquement aux cabines. Faute de prescriptions suffisantes dans les mesures de protection des équipements sur bogie dans les règles nationales, le constructeur a appliqué volontairement les prescriptions de l'EN 45545 aux composants à proximité des parties chaudes des organes de roulements (pare-étincelles, câbles électriques, flexibles hydrauliques). L'examen du DeBo s'est assuré que le risque incendie a été correctement couvert (article 2.5.7 « Protection contre les risques d'incendie »)

⁴⁶ Pour sa résistance au feu, il a été choisi de respecter les critères R1 – HL2 de la norme EN 45545-2. Il aurait pu être aussi choisi le critère R7 qui s'applique sur de nombreuses surfaces extérieures et dont les exigences sont identiques. Les câbles et flexibles hydrauliques situés au-dessus du bogie respectent les critères R22. Il est à noter que le pare-étincelles n'est pas un coupe-feu mais un élément qui empêche les étincelles d'atteindre les niveaux supérieurs.

La détection du risque incendie à bord du train

Aucune exigence réglementaire n'impose d'équipements particuliers sur les machines de travaux. Une démonstration de sécurité doit néanmoins être faite et instruite par le DeBo. Les analyses de risques peuvent conduire à implanter des équipements particuliers.

Il est néanmoins à noter que, selon les textes français et européens, la gestion de l'échauffement excessif des roues et semelles de frein est une problématique à charge de l'entreprise ferroviaire assurant la conduite du train, ce même si historiquement les gestionnaires d'infrastructures mettent en œuvre des systèmes de détection de frein serré⁴⁷ (DFS). Le gestionnaire d'infrastructure assure ainsi un certain niveau de sécurité collective pour l'ensemble des circulations, commerciales ou non⁴⁸. Aussi, au regard des spécificités de trains de travaux aussi complexes, onéreux et présentant des risques spécifiques, il peut sembler utile de les instrumenter. Il s'agit de détecter, au moyen de capteurs de température d'essieux et de bandage de roue et/ou de capteurs d'incendie actifs en mode acheminement, les signaux faibles utiles pour alerter le conducteur afin qu'il agisse de manière opportune⁴⁹.

Dans le cas présent, l'existence d'un élément combustible à proximité immédiate des organes de freinage rend possible un départ de feu.

La formation quotidienne du train

Les contraintes de réapprovisionnement du train ainsi que la topologie du chantier de Brive-Estavel requièrent de fractionner quotidiennement le train en quatre éléments stationnés chacun sur une voie. Ceci impose la réalisation quotidienne de manœuvres pour répartir les éléments sur les voies dédiées et de formation du train préalablement à son départ.

Une attention particulière doit être portée sur la réalisation quotidienne d'essais de frein statiques complets, chronophages et fastidieux. Si cette opération n'est pas bien réalisée ou si la pression de surcharge est insuffisante⁵⁰, par construction les distributeurs peuvent garder en mémoire une pression de référence supérieure à celle utilisée dans la CG. Dans ce cas, tout se passe pour les freins associés à ce distributeur comme si une légère commande permanente de freinage subsistait, entraînant un desserrage incomplet des semelles qui s'échaufferont rapidement avec l'avancement du train. Cet échauffement est d'autant plus rapide avec des semelles frittées à l'inertie thermique bien plus faible que les traditionnelles semelles en fonte.

Le passage au banc du détenteur de la locomotive de manœuvre BB 64 637 indique une pression de surcharge de 5,381 / 5,375, dans la tolérance 5,4 ±0,1. L'examen des locomotives de ligne a montré que le robinet de mécanicien de la locomotive de « tête menante » était hors tolérance. La pression CG était à 4,93 bar, ce qui va conduire à ne pas être en mesure de respecter les tolérances de la surpression momentanée et limitée de la pression dans la conduite générale lors de la surcharge : 0,4 ±0,1. La dernière opération de surcharge et élimination de celle-ci a eu lieu en gare de Brive-la-Gaillarde par l'engin de tête avant le départ en ligne du train.

Les conditions de réalisation des essais statiques de frein

Les agents formation du train doivent appliquer la règle des « trois points » définie pour les wagons des trains de fret. Son application s'avère malaisée du fait des équipements

47 Ces installations ne sont pas considérées comme des installations de sécurité même si elles y concourent.

48 Sur le réseau ferré national du royaume uni : aucun DFS n'est mis en œuvre. Sur le réseau ferré national de l'Allemagne, aucun DFS n'est installé sur les lignes à grande vitesse ; et ils sont systématiquement couplés aux DBC sur les lignes du réseau conventionnel.

49 Les conducteurs ne disposent d'aucune information ou visibilité sur l'état opérationnel du train SVB800, hormis une visibilité réduite dans les courbes longues de faible rayon.

50 Cas d'un réservoir exposé au soleil pouvant atteindre une pression supérieure à 5,4 bar, par exemple

entourant certains bogies des véhicules de l'élément SVB800. Le constructeur a prévu par conception que le contrôle du serrage/desserrage des semelles soit adapté pour certains bogies, en ne permettant la visibilité des semelles que sur une roue par bogie, considérant que la tringlerie de frein d'un bogie est commune aux deux essieux de ce bogie. Ces dispositions n'ont pas fait l'objet de remarques dans les rapports des AsBo et DeBo. Ces particularités sont connues de l'exploitant et ont été évoquées lors des séances de formation initiale des agents Enorail par le constructeur.

Les essais statiques de frein complets ont été réalisés avec la locomotive de manœuvre BB 64 637 dont le compresseur a travaillé toute la journée (air sec) et non par les locomotives G1206 (en remorque pendant plus de 35 h). Or une note sécurité de l'Infralog national SNCF Réseau préconisait de réaliser l'essai statique de frein complet par la locomotive mise en tête afin de réaliser cet essai dans les conditions réelles de circulation (dans notre cas d'une part la G1206 en tête pour le mouvement jusqu'à la gare de Brive-la-Gaillarde, d'autre part la G1206 en tête pour la circulation en acheminement jusqu'à Limoges).

L'essai de continuité a été réalisé par la locomotive G1206 en tête pour la circulation en acheminement jusqu'à Limoges. La G1206 de queue a réalisé la traction sur 1 150 m jusqu'à Brive-la-Gaillarde où le changement de sens a eu lieu. Après le dépannage de l'UM G1206 de queue, un nouvel essai de continuité avec celle de tête (à 19 h 16) a eu lieu.

Les essais de continuité du frein indirect (utilisant la CG) réalisés par les conducteurs du train ont été par deux fois satisfaisants. Cet essai ne comprend cependant pas la vérification des bogies du SVB, internes au train.

La neutralisation du frein de travail en acheminement

Le frein de travail de l'élément SVB800 doit impérativement être neutralisé avant toute remise d'AMOR requise pour un mouvement en acheminement. Cette opération est réalisée par une commande électrique actionnant deux électrovannes (opération à réaliser avant le départ en acheminement de l'élément SVB800 afin d'éviter une pression résiduelle). Le bon fonctionnement de ces deux électrovannes a été contrôlé aux ateliers spécialisés (ABH).

Ces électrovannes permettent la « mise à l'atmosphère » des deux extrémités de la conduite dédiée au frein de travail. Dans l'hypothèse peu plausible que les 2 distributeurs d'air travail présentent un dysfonctionnement simultané, l'automate remonterait un contrôle de cohérence insatisfaisant sur ces distributeurs et l'opérateur devrait voir que la conduite d'air travail ne se purge pas à l'aide des manomètres d'air travail. De plus un dysfonctionnement du frein travail aurait impacté l'ensemble des essieux du SVB800, ce qui n'a pas été le cas et élimine cette hypothèse.

La conduite principale alimentant le frein de travail n'ayant pas été vidangée et le cadernassage des robinets d'isolement du frein direct étant avéré, une pression résiduelle sur les cylindres de frein ne peut aussi être causée que par le frein indirect.

La présence d'éléments inflammables additionnels à proximité des essieux

Face aux projections de ballast issues des dégarnisseurs de banquettes, l'exploitant a proposé de mettre une bâche en matériau souple, le constructeur demandant à ce que les procédures de mise en place des dégarnisseurs de banquettes supprimant les projections de ballast vers la machine soient respectées. Au final et après échange avec Plasser & Theurer, le propriétaire a installé la bâche en août 2020.

Le matériau de cette bâche n'a, au regard des éléments collectés, pas fait l'objet d'une analyse de risque documentée par le propriétaire. Le matériau constitutif n'étant connu ni par le propriétaire ni par le constructeur, aucune assurance ne peut être donnée quant à sa résistance au feu (les matières plastiques ou caoutchoutées sont inflammables sous l'effet de fortes chaleurs)⁵¹.

La présence d'éléments inflammables au-dessus des pare-étincelles crée les conditions d'un potentiel départ de feu en cas d'incident de frein. Ce que confirme, postérieurement à la conception du SVB800, le rapport du groupe de travail JNS Urgent Procedure Task Force « *Extreme effects of thermal overload in special cases of freight operation* ». Celui-ci recommande de proscrire la présence d'élément inflammable à moins de 370 mm des systèmes de freinage (**annexe 3**).

La bâche souple du bogie 17 est repliée en mode acheminement. (**figures 23 et 44**) Elle repose sur la partie supérieure des pare-étincelles et sur le châssis du bogie. La partie fixe de la bâche est fixée au châssis du véhicule STM, la partie amovible est retenue au moyen d'une manille à un anneau fixé sur le même châssis.

Ainsi en complément des pare-étincelles équipant les roues du bogie 17, l'adjonction d'une tôle métallique identique à celle du bogie 16 aurait été une solution adéquate du point de vue de la circulation d'air et des distances. Toutefois l'aspect « mobile » de protection latérale des bogies n'aurait pas été difficile à réaliser (au-delà de l'impact en termes de poids qui risquait de dépasser la limite sur ce bogie).

La primo circulation du train dans la configuration du jour

Les conducteurs de tête et de pouce n'ont effectué que deux circulations en acheminement Brive-la-Gaillarde à Limoges avec le train Enorail les nuits du 25 au 26 mai et du 26 au 27 mai. Celles-ci ont eu lieu dans une configuration différente de celle de la nuit du 28 au 29 mai de l'accident.

Les conducteurs n'avaient pas l'expérience de la circulation du train dans les conditions présentes (profil en long exigeant, un engin en perte de traction, composition du train modifiée par rapport aux marches précédentes...). Les conducteurs n'avaient pas de références leur permettant de détecter une éventuelle résistance anormale à l'avancement, induite par un desserrage incomplet de plusieurs semelles de frein.

Si l'on considère pour le raisonnement qu'un effort de retenue de 10 % de 20 essieux du SVB800, n'entraînerait qu'un accroissement de l'ordre de 7 % de l'effort de traction⁵² pour obtenir la même vitesse, alors la détection nous semble impossible par des conducteurs opérant dans la situation précédemment décrite (primo circulation, rampe, courbes et contre-courbes...).

Les conducteurs ne peuvent, sans expérience de conduite dans la configuration du jour et sans instrumentation additionnelle, que très difficilement détecter en ligne ou lors de l'essai de roulage un tel effort de retenue.

L'utilisation des freins dans la pente descendante

Le fait que la vitesse du train ait été maintenue entre 78 et 82 km/h dans la descente vers Limoges et la déclaration du conducteur de tête quant aux nombreuses utilisations de la commande de frein, montrent qu'il y a vraisemblablement eu une succession de manœuvres alternées de serrage et de desserrage.

51 Des échantillons prélevés sur des bâches montées « provisoirement » sur le SVB800, d'apparence identique à celle dont le bogie 17 était couvert, ont montré une inflammabilité à 200 °C.

52 La force supplémentaire induite par un frottement léger de 10 % de deux tiers des essieux de l'élément SVB800 peut être estimée à 6,6 % de la force de retenue dans la rampe de 10/1000

Au regard du retour d'expérience suisse (**annexe 6**), cette utilisation du frein a pu conduire à un maintien du freinage sur certains véhicules du SVB (en partie centrale du train).

L'usage du frein non conventionnel en modérabilité a conduit à une montée en température des roues et semelles de freinage du SVB800 précédemment échauffées par la mise en action intempestive du frein sur des bogies du SVB, jusqu'à atteindre et dépasser 650 °C (génération d'étincelles).

Un freinage en dents de scie aurait permis de réduire l'échauffement des semelles de frein et ainsi la probabilité de créer un départ de feu.

La surveillance des trains en marche

Les personnels en attente de fermeture de voie ainsi que les conducteurs des trains croiseurs (3 durant la montée), n'ont pas décelé d'anomalie au passage du train.

Le DFS de Vigeois se situe à 30 km du point de départ du train. Il est fort peu probable qu'il ait sous l'effet d'un léchage de roues généré une alarme frein serré au passage du train (seuil de détection 350 °C). Néanmoins, ses enregistrements auraient facilité l'enquête.

La surveillance renforcée mise en place à Pierre-Buffière a permis d'obtenir l'arrêt du train en amont du viaduc de la Roselle (avant que le conducteur de pousse ne s'en soit rendu compte)

4.1.3 - Les facteurs qui ont créé le départ de feu

L'effort de retenue induit par le serrage intempestif de plusieurs bogies

Des simulations (**figure 46**) ont été effectuées dans le cadre de l'expertise judiciaire : elles ont permis de déterminer la vitesse du train en tout point du parcours en fonction de paramètres modulables et d'en déduire les temps de parcours, les consommations, les charges admissibles, etc.

Les données d'entrée sont d'une part pour la voie, le profil en long, les courbes, les vitesses limites (les tunnels ne sont pas modélisés) et, d'autre part, pour le train, sa masse, le nombre de wagons, le type et le nombre de locomotives, les paramètres d'adhérence et de résistance à l'avancement. Les calculs tiennent compte de la déclivité sur la longueur du train, de la résistance au décollage, d'une accélération minimale au démarrage, etc. L'outil se met en situation optimale avec un effort de traction maximal jusqu'à l'obtention de la vitesse limite et pilote autour de celle-ci par des tractions et freinages adaptés comme avec un régulateur de vitesse traction-freinage. La puissance des locomotives a été adaptée⁵³ en regard des enregistrements de la marche réelle.

⁵³ La puissance des locomotives est adaptée : 4 Locos à 95 % jusqu'au Pk 490,2 ; 3 locos à 95 % du Pk 490,2 au Pk 432,1 ; 2 locos à 95 % du Pk 432,1 au Pk 418,2.

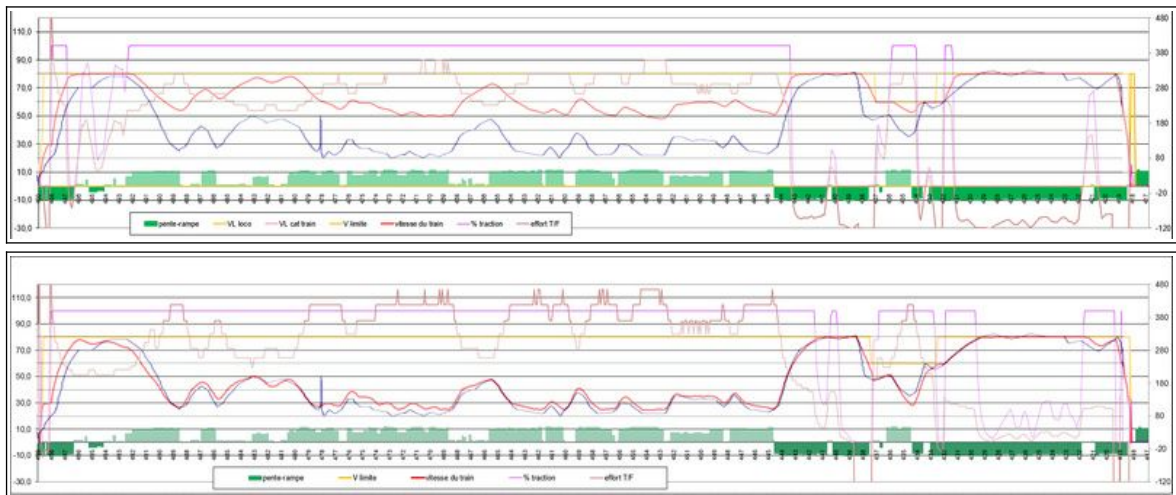


Figure 46 : Simulations comparatives entre le réel (bleu), sans retenue et tous engins nominaux (rouge haut) et avec adaptation de la puissance et effort de retenue (rouge bas) (réalisées avec l'outil CaMaTraF)

La comparaison des relevés de position-vitesse des marches réelles et théoriques réalisées montre que :

- sur les trajets des nuits du 25 au 26 mai et du 26 au 27 mai, les caractéristiques correspondent avec les relevés vitesse-position des enregistrements ATESS ;
- sur le trajet d'approche de 70 km, de Brive-la-Gaillarde au point de déclenchement du freinage en modérabilité, il existe une force de retenue que l'on peut estimer de 120 à 140 kN⁵⁴ ;
- sur la descente après le freinage pour la LTV60, le sur-effort disparaît comme si le déclenchement du freinage masquait ou annulait le défaut précédent.

L'effort de retenue de 120 à 140 kN n'est pas assez important pour correspondre à un ou plusieurs bogies en état de frein serré. Celui-ci peut raisonnablement correspondre à un groupe d'essieux en serrage intempestif léger qui, au point de déclenchement du freinage en modérabilité, peut créer un échauffement anormal des roues et des semelles de freinage d'une vingtaine d'essieux du SVB800.

La disparition du sur-effort lors du déclenchement du freinage milite pour l'existence au départ de Brive-la-Gaillarde d'un serrage intempestif des semelles correspondant à plusieurs distributeurs (1, 2 et 5 à 9) dont l'origine exacte n'est cependant pas identifiée.

L'échauffement des semelles de frein et de la bande roulement des roues

L'application par le conducteur de tête d'un « freinage en modérabilité » de 5 min 42 s pour maintenir la vitesse du train à 80 km/h dans la pente de 10/1000 vers Limoges a eu pour conséquence d'accroître encore la température des roues et des semelles précédemment identifiées. L'échauffement a été élevé au niveau du bogie 17 recouvert d'une bâche souple de protection. L'état final des roues et des semelles montre que des températures de 650 °C et 900 °C ont été respectivement atteintes.

La comparaison avec les marches précédentes où ces freinages ont été opérés respectivement sur 9 min 44 s et 10 min 10 s, avec un train plus lourd, montre que ces freinages en modérabilité pour maintenir le train à 80 km/h sur une pente de 10/1000 restent compatibles avec les possibilités des matériels. L'état colorimétrique initial des semelles a été conservé, du moins sans altération visible par les agents en charge de la

54 L'effort de retenue de 140 kN est au regard de l'effort de 6 600 kN lors d'un freinage d'urgence sur ce train, soit 3 %

formation du train. L'énergie produite par un freinage continu en modérabilité⁵⁵ du train sur les 7,6 km de pente ne dépasse pas le maximum autorisé du train (dissipable par les essieux).

Le freinage en modérabilité de 5 min 42 s sur 7,6 km ne peut, à lui seul, occasionner l'échauffement excessif constaté, ce même avec des semelles de type K. Celui-ci a néanmoins conduit à accroître l'échauffement des semelles de frein et des bandes de roulement des roues du SVB800 jusqu'à dépasser les valeurs limites.

Les conditions du départ de feu

L'échauffement excessif des roues et semelles de freinage du bogie 17 a produit :

- un fort rayonnement thermique vers les pare-étincelles, une montée en température des pare-étincelles et de la bâche souple en contact avec ceux-ci ;
- une génération de gerbes d'étincelles au-delà des pare-étincelles lors de l'application du freinage en modérabilité. Se produit une projection de matières incandescentes quand les semelles atteignent ou dépassent les 650 °C. Une part importante du flux d'étincelles doit néanmoins être canalisé par les pare-étincelles, l'autre part n'est pas retenue.

Les roues des véhicules du SVB800 sont équipées de pare-étincelles précédemment décrits. La nature de ces pare-étincelles permet de respecter les temps de tenue aux flammes exigés par la norme EN 45545. Ils présentent une résistance au rayonnement des semelles et aux projections de particules en fusion. Plusieurs pare-étincelles, hors ceux du bogie 17 détériorés dans le cœur de l'incendie, ont présenté de légères altérations.

Les deux effets précédemment décrits ont dû provoquer la mise à feu de la bâche souple du bogie 17. Ce point semble conforté par les témoignages de l'AC de Pierre-Buffière et les deux conducteurs du train qui ont évoqué un feu « au-dessus des essieux » du bogie où a eu lieu le départ de feu.

Des essais vont être réalisés par l'agence d'essais ferroviaires (AEF) pour qualifier la nature et la vitesse de dégradation de ces pare-étincelles en situation réelle du train acheminé. Les résultats ne sont pas connus à la date d'écriture du présent rapport.

Le facteur d'alimentation en combustible du départ de feu

À plus d'un mètre au-dessus de la bâche souple sont disposés plusieurs flexibles hydrauliques souples reliant les véhicules MW2 et STM. Ceux-ci sont encadrés par des raccords « rigide-souple ». Lorsque le train est acheminé, les bâches souples sont repliées et les flexibles hydrauliques restent alimentés en huile⁵⁶.

Le BEA-TT considère comme le plus probable que les flammes dues à la combustion de la bâche souple ont fini par altérer les flexibles hydrauliques. Ceci a provoqué le déversement de l'huile Panolin, depuis le réservoir du véhicule MW2, sur la zone du départ de feu. Ceci constitue le facteur déclenchant de l'ampleur de l'incendie. Lors de la visite du train effectuée par le conducteur de tête, il fait état d'un embrasement brutal et d'un effet de souffle alors qu'il est à l'approche de cette zone.

De conception, il n'existe pas de dispositif évitant le déversement de l'huile du réservoir de 5500 litres situé sur le véhicule MW2 sur le départ de feu (**figure 49**).

55 Le freinage en dents de scie entraîne une réduction de la vitesse moyenne du train (70 km/h dans notre cas pour une vitesse variant de 60 à 80 km/h) par rapport à celle associée à un freinage en modérabilité (80 km/h dans notre cas). Il permet lors de chaque desserrage complet de refroidir par air l'ensemble du système de freinage. (L'énergie dissipée pour une variation d'altitude donnée est la même, mais la puissance produite est plus importante et le temps alloué aux échanges thermiques est plus court).

56 Les réservoirs d'huile ne disposent pas de robinet d'arrêt manœuvrable depuis l'extérieur du train

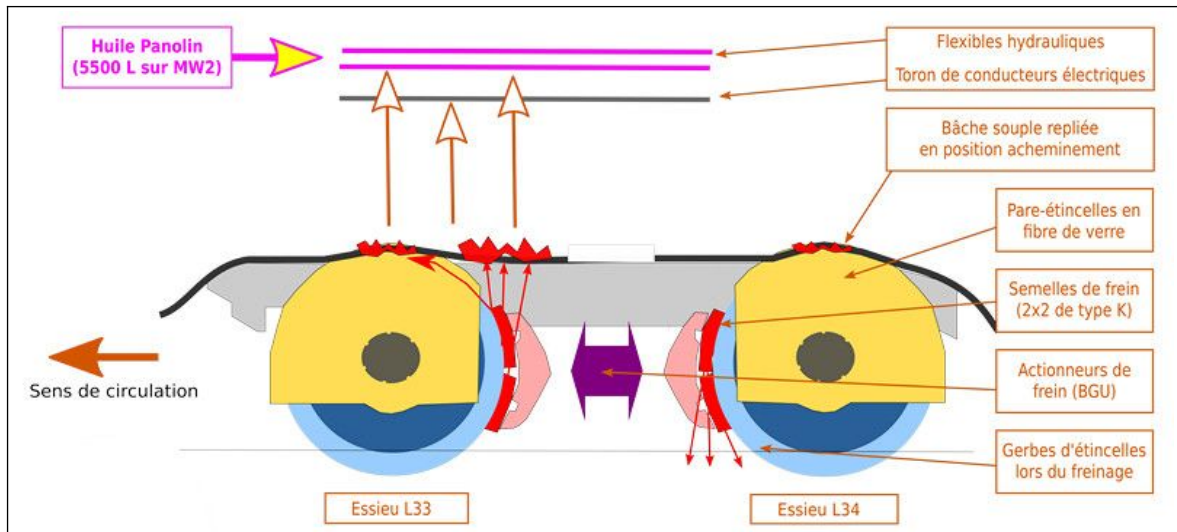


Figure 47 : Schéma des éléments en interaction autour du bogie 17, des essieux L33-L34
(vue intérieure du bogie)

Le déversement de l'huile du réservoir du véhicule MW2 sur la zone du départ de feu (ou a minima à une température supérieure à 240 °C) semble constituer un facteur contributif majeur à la transformation du départ de feu en incendie.

La mise hors service prolongée du DBC-DFS peut être considéré comme un facteur contributif dans la survenue de l'incendie, même s'il ne peut être montré que le DFS aurait avec certitude généré une alarme lors du passage du train.

4.1.4 - Les facteurs qui ont permis la propagation de l'incendie

Au-delà des éléments précédemment décrits, il est utile d'élargir l'analyse aux différents aspects qui ont contribué à la propagation du feu au train après son arrêt.

Quand le train s'immobilise, l'orientation des flammes se modifie. Les flexibles alimentés par le réservoir d'huile du véhicule MW2, altérés par les flammes, fuient entraînant une vaporisation de l'huile. Celle-ci s'enflamme instantanément. La flamme croît à environ 5 m atteignant les convoyeurs de ballast et la caténaire. Celle-ci se rompt rapidement au niveau du bogie L33-L34 du véhicule STM.

Comme évoqué précédemment le véhicule STM présente au-dessus du bogie 17 de nombreux flexibles hydrauliques altérés par le feu et déversant par gravité quantité d'huile sur le feu du bogie 17.

L'incendie se généralise par la prise de feu rapide de la succession de tapis des convoyeurs en caoutchouc des véhicules encadrant. Le feu rayonne vers la cabine n° 5 du véhicule MW.

Les **figures 48 à 51** illustrent la cinématique de feu.

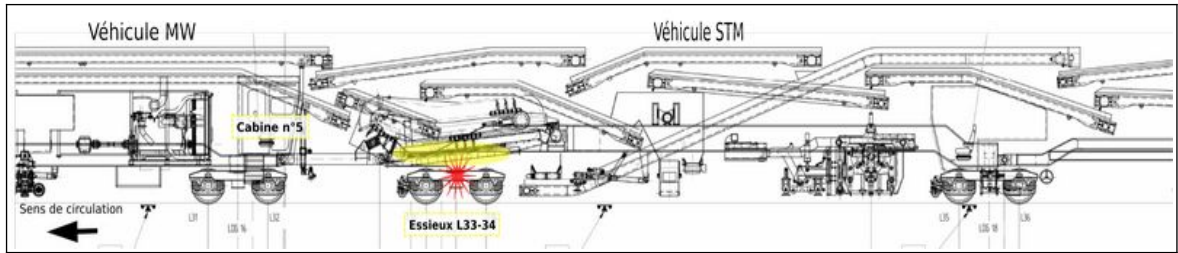


Figure 48 : Prise de feu et direction des flammes quand le train est en mouvement
Extrémité finale MW2 + STM + SBM

Le feu se communique au véhicule MW2 par rayonnement et par les tapis des convoyeurs en caoutchouc. La cabine en aluminium du véhicule MW2 est consumée par le haut

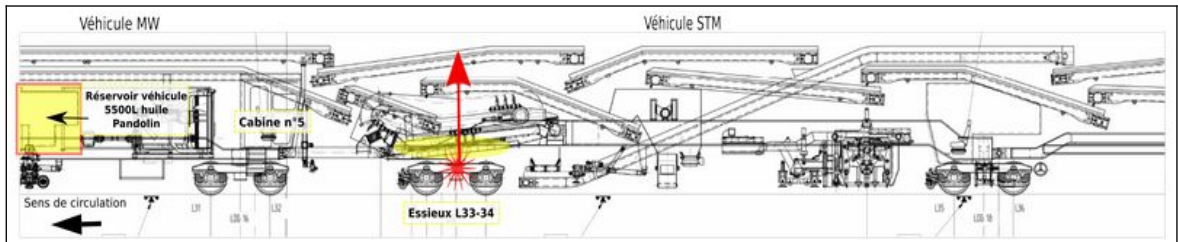


Figure 49 : Changement d'orientation du feu à l'arrêt du train
Atteinte des convoyeurs en caoutchouc et des conduits hydrauliques
Extrémité finale MW2 + STM + SBM

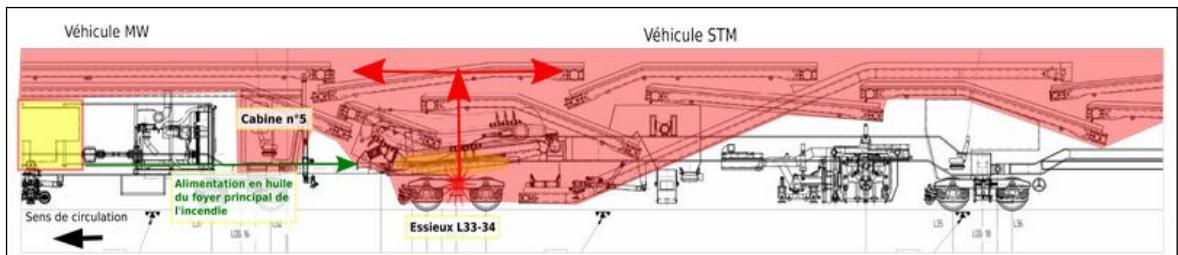


Figure 50 : Alimentation en combustible du feu (vert)
et propagation du feu par les convoyeurs en caoutchouc
Extrémité finale MW2 + STM + SBM

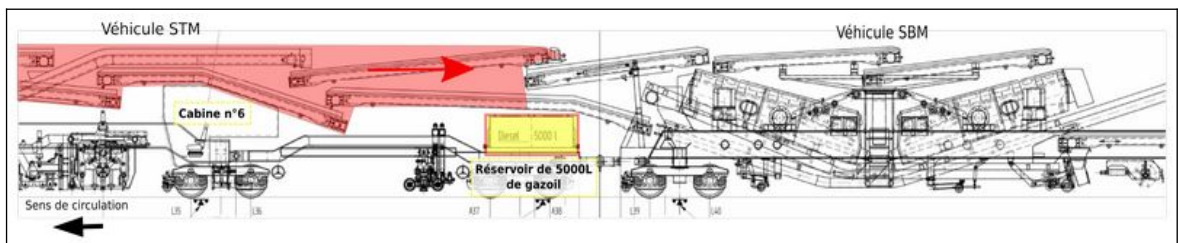


Figure 51 : Propagation du feu par les tapis supérieurs de convoyage
Extrémité finale + STM + SBM

Le feu se propage par les tapis de convoyage de ballast vers le véhicule SBM sans toucher le réservoir de 5000 litres de gazoil.

4.1.5 - Les facteurs qui ont limité l'extension de l'incendie

Les pompiers sont très vite arrivés sur place (brigade de Solignac). Des personnels Enorail présents au PN 242 ont pu les renseigner sur les particularités du train usine, notamment l'existence et la localisation de réservoirs de combustible et d'huile. Ces deux facteurs ont été très favorables à la limitation de la propagation de l'incendie.

Les conséquences de l'incendie auraient pu être sensiblement plus graves. Le débroussaillage préalable efficace a également permis de limiter la progression de l'incendie et le contenir dans les emprises ferroviaires.

4.1.6 - Les facteurs organisationnels et humains contributifs

L'organisation du chantier de renouvellement de voie

Les contingences d'affectation des bases arrière des trains de renouvellement P95 à Limoges et du train SVB800 à Brive-la-Gaillarde imposent une circulation quotidienne aller puis retour de 200 km sur une ligne au profil exigeant. Le chantier prévoyait 20 sessions de travail, donc autant de trajets aller-retour et de formation-fractionnement du train. La répétition quotidienne de ces opérations constitue un travail répétitif et fastidieux nécessaire à la réalisation des essais de freins et de l'opération de reconnaissance à l'aptitude au transport. La sécurité de la circulation du train repose directement sur une réalisation attentive de ces tâches.

Les facteurs liés à la formation-fractionnement du train

Les opérations de réapprovisionnement de ce type de train requièrent quotidiennement des manœuvres de formation-fractionnement du train. Celles-ci sont d'autant plus critiques quand elles doivent être réalisées par du personnel ayant travaillé toute la nuit (trajet de retour à la base arrière).

Les essais de frein complet du train ont été réalisés et l'essai de roulage n'a fait apparaître aucune anomalie.

La formation du train a nécessité de nombreux mouvements réalisés avec l'engin de manœuvre BB 64 637 et plusieurs longs déplacements à pied des agents de manœuvre :

- raccordement côté poste T à la section « UM de queue, 3 ballastières, 2DGS » ;
- mouvement en tiroir côté poste T et raccordement sur la section « 7 MFS » ;
- mouvement en tiroir côté poste T du tronçon obtenu côté poste T et raccordement sur la section « SVB + 1 MFS » ;
- mouvement de pousse et raccordement sur la section « 2 WT3E + Plateau + UM de tête » prépositionnée en matinée ;
- mouvement du train complet pour un positionnement de la tête en amont du passage planchéié proche du poste T ;
- réalisation des essais de frein statiques avec l'engin de manœuvre (les agents remontent l'ensemble du train deux fois) ;
- réalisation de la visite nécessaire à la RAT (l'agent remonte le train une fois de chaque côté).

Au regard de la complexité et de la criticité des tâches à réaliser dans le cadre de la mise en mode « acheminement » du train, la conception du train pourrait proposer des moyens adaptés spécifiques de nature à réduire la pénibilité de certaines tâches explicitées ci-après et augmenter la couverture des risques.

L'usage des instrumentations existantes sur l'élément SVB800

La mise en mode acheminement de l'élément SVB800 est en grande partie à faire sous surveillance depuis la cabine de supervision (WSC) pour les opérations de contrôle des divers verrouillages, du basculement des commandes de frein direct, etc. La WSC dispose notamment des informations sur l'état fonctionnel des systèmes de freinage (état des distributeurs KE, contrôle de pression des différents circuits de freinage...). L'élément SVB800 étant mis hors tension avant toute manœuvre (délivrance de la fiche AMOR), ces informations ne sont pas communiquées aux agents en charge des essais de frein statiques.

Les agents en charge des essais de frein statiques doivent vérifier le fonctionnement du frein, dont notamment la non-application physique des semelles de frein. Ils ne disposent pas d'informations sur les pressions résiduelles pouvant, le cas échéant, exister dans les cylindres de frein de l'élément SVB800.

L'appréhension des conducteurs au regard de leur mission

Les conducteurs ont réalisé deux fois avec le train Enorail le trajet aller-retour entre Brive-la-Gaillarde et Limoges. La motorisation perçue⁵⁷ comme limitée par les conducteurs du train au regard des fortes rampes est de nature à stresser les conducteurs. Ils craignent en effet qu'un patinage ou une autre cause leur impose un arrêt en ligne. Devant l'impossibilité de reprendre leur marche, une évolution en contre-voie s'avérerait nécessaire.

Les conditions de tracé ne favorisent généralement pas l'observation du train par les conducteurs pour détecter une éventuelle prise de feu ou un dégagement de fumée.

Les conducteurs sont sous la pression du respect des horaires. Selon le témoignage du conducteur, cette pression horaire est intervenue dans le choix du freinage en modérabilité. Le freinage en dents de scie aurait pu, en limitant la vitesse de descente, limiter l'échauffement des organes de freinage. Ce type de freinage n'est plus obligatoire depuis la disparition des dispositifs avec triple valve. Il peut toujours être utilisé quand le contexte s'y prête, à discrétion du conducteur.

Les consignes de conduite sur le freinage dents de scie

La conduite de trains de fret à traction thermique en unités multiples sur des trajets exigeants tels que la section Brive-la-Gaillarde à Limoges requiert des conducteurs avec une expérience certaine de conducteur de ligne. Les conducteurs ont été formés et leurs connaissances vérifiées par leurs responsables de l'entreprise ETF Services. Ils ont de plus reçu un document synthétique⁵⁸ décrivant le trajet Brive-la-Gaillarde à Limoges.

Le manuel de conduite ETF Services laisse au conducteur de tête le choix, au regard des circonstances, entre le mode de freinage en modérabilité et celui en dents de scie.

La réglementation de conduite des chemins de fer suisses au regard des expérimentations effectuées (ainsi que les pratiques quasi équivalentes de certaines entreprises ferroviaires nationales) conduit à penser qu'il est préférable dans notre situation (un train lourd dans une longue pente descendante) de privilégier le freinage en dents de scie à celui en modérabilité. Il s'agit de réduire la puissance dissipée dans les semelles de frein, de maintenir leur température sous le seuil de génération d'étincelles et ainsi de réduire le risque de départ de feu en cas d'aléa sur son train.

57 Avec 3 locomotives G1206 avec chacune 720 kN au démarrage pour un besoin de 505 kN en rampe maxi avec une adhérence sollicitée de 19,7 %, ce qui ne doit pas poser de problème.

58 Les conducteurs disposent d'un document de description de la ligne entre Brive-la-Gaillarde et Limoges qui décrit rampes, signaux, viaducs et tunnels, mais pas les courbes permettant aux conducteurs de surveiller le train (R < 650 m par ex.).

La maintenance de l'infrastructure

Les services de maintenance des installations électriques ont rencontré des difficultés d'approvisionnement en pièces de réserve pour l'unique DBC de la section de ligne Brive-la-Gaillarde à Limoges. La réserve régionale de Limoges est à de 80 km de Vigeois, les matériels sont rares et les délais d'approvisionnement importants.

Selon les informations recueillies, il semble qu'il y ait eu un conflit de priorité entre la réalisation de « lots critiques » au sens du référentiel interne SNCF et le dépannage du DBC de Vigeois. L'arrêt de celui-ci est perçu comme non impactant directement la sécurité des circulations, alors que tous les DBC contribuent activement à la sécurité globale des circulations.

4.1.7 - Les mécanismes de retour d'expérience et de contrôle

Les autorisations, certificats et rapports d'évaluation accordés

L'autorisation de mise sur le marché

L'élément SVB800 détient une AMM, autorisation de type, délivrée le 13 mai 2020 par l'Établissement public de sécurité ferroviaire pour circuler en France. L'AMM indique une vitesse maximale de 100 km/h et une rampe maximale de 40/1000. Le cadre de la délivrance de cette AMM peut être utilement considéré :

- Le projet de conception du train a été contractualisé en 2017 avant la mise en œuvre du 4^e paquet ferroviaire le 16 juin 2019. La SNCF a commencé à assembler le dossier en vue de la délivrance d'un « agrément de circulation sur le RFN » en regard de son référentiel IN 1418 de mars 2000 auquel il est fait référence dans le contrat d'achat.
- Le projet ayant pris du retard, celui-ci a été traité selon l'Article 217 du décret 2019-525.
- SNCF Réseau (en tant que DeBo et AsBo) a transmis les rapports DeBo et AsBo au constructeur, qui les a retransmis à l'EPSF. Les éléments collectés par la société Plasser & Theurer (en tant que demandeur d'autorisation) ont été transmis à l'EPSF au regard des exigences de l'annexe 1 du PAVA⁵⁹ (application des MSC⁶⁰ / AsBo) et de la MSC (analyse de risque du constructeur non requise par l'IN 1418). En accord avec la DGITM, l'EPSF a néanmoins gardé ce référentiel comme base de travail (disposition prise pour les projets se trouvant en période transitoire), car la fabrication de l'élément SVB800 était déjà très avancée.

Le cadre général de délivrance d'une AMM est décrit à l'**annexe 2**.

La classification du train au regard des matières dangereuses

La seule section SVB800 contient près de 30 000 litres de gazole et d'huile, tous deux inflammables à des températures relativement basses. Le train Enorail n'est pas considéré comme transportant des matières dangereuses et n'est pas signalé comme tel au Centre opérationnel de la gestion des circulations sur le RFN. Les précautions afférentes à ces circulations, par exemple l'interdiction, au niveau du tracé des sillons, de croisement en tunnel avec des trains voyageurs, ne sont donc pas appliquées.

Le BEA-TT s'interroge sur la pertinence de ne pas considérer les trains de travaux usine transportant une quantité importante de combustible comme train contenant des matières dangereuses.

59 PAVA : practical arrangements for vehicle autorisation (modalités pratiques d'autorisation des véhicules)

60 MSC : méthode de sécurité commune

Les faits survenus antérieurement et de nature comparable

Sur le second semestre 2021, le BEA-TT a recensé plusieurs incidents similaires sur le RFN. Nous citerons :

Incendie sur une bourreuse en acheminement le 16/06/2021

Un train de fret constitué de 31 véhicules, de 621 mètres et 942 tonnes déclenche, 20 km après son départ, une « alerte simple » au passage d'un DBC de « 4^e génération ». Un début d'incendie de talus est signalé. L'existence de freins serrés sur plusieurs essieux de la bourreuse en remorque du train est confirmé. Celle-ci a bien fait l'objet d'une AMOR. Le conducteur a vu des flammes sortir du véhicule dont les freins sont bloqués. L'intervention des pompiers a été requise.

Incendie sur une bourreuse en acheminement le 9/11/2021

Une bourreuse en acheminement en queue d'un train de fret a pris feu. L'agent d'accompagnement de la bourreuse signale au conducteur des étincelles au niveau des essieux et un départ de feu. Le conducteur a visité le train et éteint l'incendie. L'enquête du mainteneur du matériel roulant a conclu à un frein serré sur la bourreuse ayant mis le feu au pare-étincelles.

Incendie sur une bourreuse en acheminement le 16/11/2021

Un départ de feu a eu lieu sur une bourreuse du train de travaux en remorque. Le train a déclenché une alarme simple à un DBC. Le conducteur a constaté que des flammes se dégageaient de la bourreuse. Plusieurs essieux de la bourreuse ont été endommagés, les semelles de frein et leurs supports détruits. Les flexibles hydrauliques ont été endommagés par les flammes. L'enquête a montré que le premier essieu est resté bloqué après l'essai de freinage dynamique sans que personne ne s'en aperçoive. L'incendie a été causé par la rupture des fixations en matière synthétique des tuyaux hydrauliques, du fait de projections de gerbes d'étincelles provoquée par l'application des semelles sur les tables de roulement.

Départ de feu sur un véhicule DGS en acheminement le 15/12/2021

Un véhicule DGS n° 6825 est remorqué en queue d'un train de fret. Les essais de frein et de roulage ont été satisfaisants. En gare de Le-Luc-et-Le-Cannet, des étincelles ont été signalées au niveau des essieux de l'engin moteur DGS par la STEM. Le conducteur a réalisé un freinage de service pour ne pas aggraver la situation. Lors de la visite du train, il est parvenu à maîtriser la consommation sans flammes du pare-étincelles avec un extincteur. Le feu ne s'est pas communiqué au reste de l'engin. L'évènement n'a pas été décelé au départ et en cours de route par les conducteurs. L'analyse a permis d'écartier un problème d'élimination de la surcharge ou d'anomalie sur le distributeur de frein de l'engin moteur DGS. La vanne d'isolement du frein direct a été retrouvée en position ouverte. Les cadenas permettant de bloquer les robinets ont été trouvés non verrouillés contrairement aux prescriptions.

Départ de feu sur une bourreuse 108 475 en acheminement le 14/04/2023

La machine est accrochée au train de dégarnissage de retour à la base arrière en fin de chantier. Après 15 km, le conducteur de pousse menante sent une odeur de fumée et voit une émanation de fumée. Lors de la visite du train, il est parvenu à maîtriser la consommation sans flamme du pare-étincelles avec un extincteur. Le feu ne s'est pas communiqué au reste de l'engin. Les pare-étincelles ont pris feu mais sont restés intègres (rigides). Les câbles électriques soumis au feu ont été très localement extérieurement altérés. Les plans de roulements des roues du bogie bloqué ont été creusés, les semelles correspondantes ont rougi, la peinture du voile des roues est cloquée sur plus de 10 cm...

Le BEA-TT a recensé quelques événements similaires ayant fait l'objet d'un rapport des services étrangers. Nous citerons :

Incendie sur un wagon de transport de véhicules le 18/09/2014 à Neuwied (Allemagne)

L'enquête sur la cause de l'incendie a révélé que tous les freins du wagon de transport de voitures étaient serrés. Le frein serré avec des semelles composites a provoqué des étincelles sur les quatre essieux. Au-dessus des essieux 1 et 3, la tôle de plancher sur laquelle reposaient les pneus de la voiture transportée a été chauffée au point que les pneus ont atteint leur température d'auto-inflammation. Le feu s'est alors déclaré presque simultanément au-dessus du premier et du troisième essieu. Le véhicule routier transporté a pris feu, celui-ci menaçant de se communiquer aux véhicules encadrants. L'incident n'a pas été détecté par le DFS, car la température mesurée était inférieure au seuil (211 °C), mais par un personnel d'exploitation. Il s'avère que les essieux n'étaient pas équipés de pare-étincelles d'un type équivalent à celui de l'élément SVB800. La plaque métallique faisant office de pare-étincelles a rempli son office quant aux projections mais, située à moins de 370 mm des parties chaudes, n'a pas bloqué le rayonnement thermique généré par l'échauffement des semelles et des roues.

Incendie du plancher d'un wagon de fret le 31/10/2017 entre Comarnic et Câmpina (Roumanie)

L'enquête sur la cause de l'incendie a révélé que tous les freins du wagon de fret clos étaient serrés. Le feu a été généré par l'échauffement consécutif de la plaque pare-étincelles sur laquelle, du fait d'une rupture de planches de plancher, des restes d'engrais avec du nitrate d'ammonium (nitrate) étaient présents. La température de la plaque a augmenté sérieusement sous l'action du flux d'étincelles généré au contact entre les semelles (fonte) de frein et la surface de roulement de la roue. L'incident n'a pas été détecté par un DFS mais par un personnel d'exploitation qui au passage a détecté un dégagement de fumée.

Le BEA-TT n'a détecté aucun cas de départ de feu sur simple léchage entre les semelles de frein et la surface de roulement de la roue. Il apparaît que les incendies font suite à des incidents de frein serré, soit avec une jupe métallique pare-étincelles portant des produits inflammables, soit avec des pare-étincelles individuels d'un type équivalent à celui de l'élément SVB800 à proximité de flexibles hydrauliques ou autres éléments inflammables. C'est le rayonnement thermique qui constitue alors la cause privilégiée de départ de feu.

Ces événements ne constituent qu'un échantillonnage du retour d'expérience quant aux départs de feu survenant sur les engins de maintenance circulant en acheminement.

4.2 - Synthèse de l'enchaînement des événements

L'équipement du train

Une bâche souple contre les chutes de ballast sur la tringlerie de freinage et les projections latérales de ballasts lors de la mise en marche du dégarnisseur de têtes de traverses a été adjointe postérieurement à l'obtention de l'AMM au-dessus du bogie 17 du SVB800. Celle-ci constitue un élément inflammables additionnel à proximité des essieux et des semelles de frein du-dit bogie.

La marge d'air obtenue est inférieure à la distance de 370 mm recommandés par le groupe de travail JNS *Urgent Procedure Task Force* « *Extreme effects of thermal overload in special cases of freight operation* ». Cette bâche est donc en cas d'incident de frein

directement soumise au rayonnement thermique des semelles et aux projections de particules en fusion.

La formation, la préparation et le retournement du train

L'élément SVB800 a terminé sa maintenance quotidienne le 28 mai 2021 à 12 h. Le convoi est formé dans l'après-midi. Les essais complets de freins réalisés avec engin de manœuvre SNCF Réseau sont déclarés positifs. Aucune altération des semelles de freinage potentiellement due à un échauffement préalable n'a été constatée.

La fiche d'AMOR, le bulletin de composition et le bulletin de freinage ont été remis au conducteur de tête, donnant l'assurance que le train est correctement composé et apte à circuler en acheminement jusqu'à sa zone de chantier.

Lors de l'essai de roulage (8 s à 6 km/h), le conducteur ne détecte aucune retenue anormale, ce alors qu'il est vraisemblable qu'un desserrage incomplet des semelles de plusieurs bogies de l'élément SVB800 existait.

Le trajet de Brive-la-Gaillarde au point haut de « La Porcherie »

Le convoi prend le maximum de vitesse avant d'engager la longue rampe après Brive-la-Gaillarde. La vitesse du convoi se maintient en moyenne à 30 km/h dans la rampe, malgré la réduction de masse tractée et l'ajout d'une locomotive de pousse.

Les simulations numériques montrent l'existence d'une résistance supplémentaire à l'avancement de 120 à 140 kN dans la montée. Le BEA-TT retient donc l'hypothèse de l'existence d'un léchage des semelles sur les roues des essieux du SVB800. La présence de semelles rouges et de peinture cloquée appuie cette possibilité.

Les circulations croisant le train dans la rampe n'ont pas signalé de départ de feu, de dégagement de fumée ou de frein serré. Les agents des bourreuses stationnant en gare de Saint-Germain-les-Belles n'ont rien observé d'anormal au passage du train.

Le trajet du point haut au point d'immobilisation du train

Passé le point haut au Pk 444,55, les conducteurs ont interrompu tout effort de traction. Le conducteur de tête a opéré un essai de frein dynamique, premier freinage depuis la mise en marche du train. Sa vitesse descend à 50 km/h.

Puis 2,1 km plus loin, il commande un second freinage pour respecter la limitation temporaire de vitesse à 60 km/h.

À partir du Pk 429, le conducteur a utilisé le frein de service en modérabilité sur 7,6 kilomètres, soit 5 min 40 s, pour réguler la vitesse autour de 80 km/h dans la pente.

Malgré les quelques courbes favorables, les conducteurs n'ont pu efficacement observer leur convoi et le cas échéant détecter l'existence de gerbe d'étincelles au milieu de leur train.

Le convoi a franchi à 80 km/h la gare de Pierre-Buffière à 21 h 26, après 78,2 km de marche.

L'AC de la gare de Pierre-Buffière, positionné sur le quai côté voie 1 (à droite dans le sens de circulation), a aperçu sur les deux essieux d'un bogie au milieu du train :

- d'importantes gerbes d'étincelles émanant des essieux d'un bogie ;
- un dégagement de fumée noire odorante émanant d'au-dessus de ces mêmes essieux.

L'AC avertit le régulateur transport fin d'arrêter et retenir les circulations de sens opposé. Ce dernier demande au conducteur de s'arrêter d'urgence.

Au passage du PN 242, le conducteur de pouce observe le départ de feu et une épaisse fumée noire issue du milieu de train. Il signale le fait au conducteur de tête en lui demandant de stopper le convoi.

Déjà averti par le régulateur transport, le conducteur de tête freine d'urgence et arrête son convoi à 21 h 29 au Pk 418,64 au niveau de la commune de Saint-Hilaire-Bonneval.

Le régulateur sous-station procède, sur sollicitation du régulateur transport, à la mise hors tension de la caténaire.

Au point d'immobilisation du train

Le conducteur de tête procède à la protection des obstacles et se dirige par la piste avec ses extincteurs de cabine vers la source de la fumée se dégageant du train. Il aperçoit au-dessus des essieux au milieu du SVB800 une source lumineuse flamboyante jaune de l'ordre de 30 cm.

Lorsqu'il arrive à 50 m du feu, il se produit un puissant « effet de souffle ». Le feu gagne en taille et atteint les fils de la caténaire. Il enflamme les équipements hydrauliques et les tapis des convoyeurs. La caténaire rompt quand le conducteur est rentré dans son engin moteur.

Parallèlement, le conducteur de pouce contacte le régulateur sous-station par un téléphone d'alarme, se dirige vers l'incendie avec ses extincteurs jusqu'au changement de nature du feu puis retourne sur ses pas.

Le traitement de l'incendie

L'incendie a été traité durant près de 5 heures par plus de 40 pompiers engagés très rapidement. La caserne la plus proche est à Pierre-Buffière, soit à moins 5 km. Le feu a été délicat à traiter du fait de l'existence de deux types de feu : feu de combustible et feu de métal. Un cadre Enorail arrivé rapidement sur les lieux a pu informer les pompiers de la position des réserves de combustibles dans le train.

Les conséquences sur l'exploitation des circulations ferroviaires

L'incendie a occasionné une interruption totale des circulations sur les deux voies jusque dans la matinée du 29 mai 2021. Une fois le train et les débris de l'incendie sur la voie dégagée, les circulations des trains à la traction thermique ont pu reprendre sur la voie 1 sous le régime de la voie unique temporaire le 29 mai 2021 dans l'après-midi. Les services de SNCF Réseau ont remplacé les cent mètres de voie dégradée, les équipements de signalisation à la voie et posé des supports de caténaire provisoire. Les circulations électriques ont été à nouveau autorisées deux jours après avec néanmoins un passage sur l'erre, pantographes abaissés, de plusieurs centaines de mètres pour franchir la brèche de caténaire.

5 - Les conclusions

5.1 - L'arbre des causes

Les investigations conduites permettent d'établir le graphique ci-après qui synthétise le déroulement de l'accident et en identifie les causes et les facteurs associés mis en évidence par le BEA-TT.

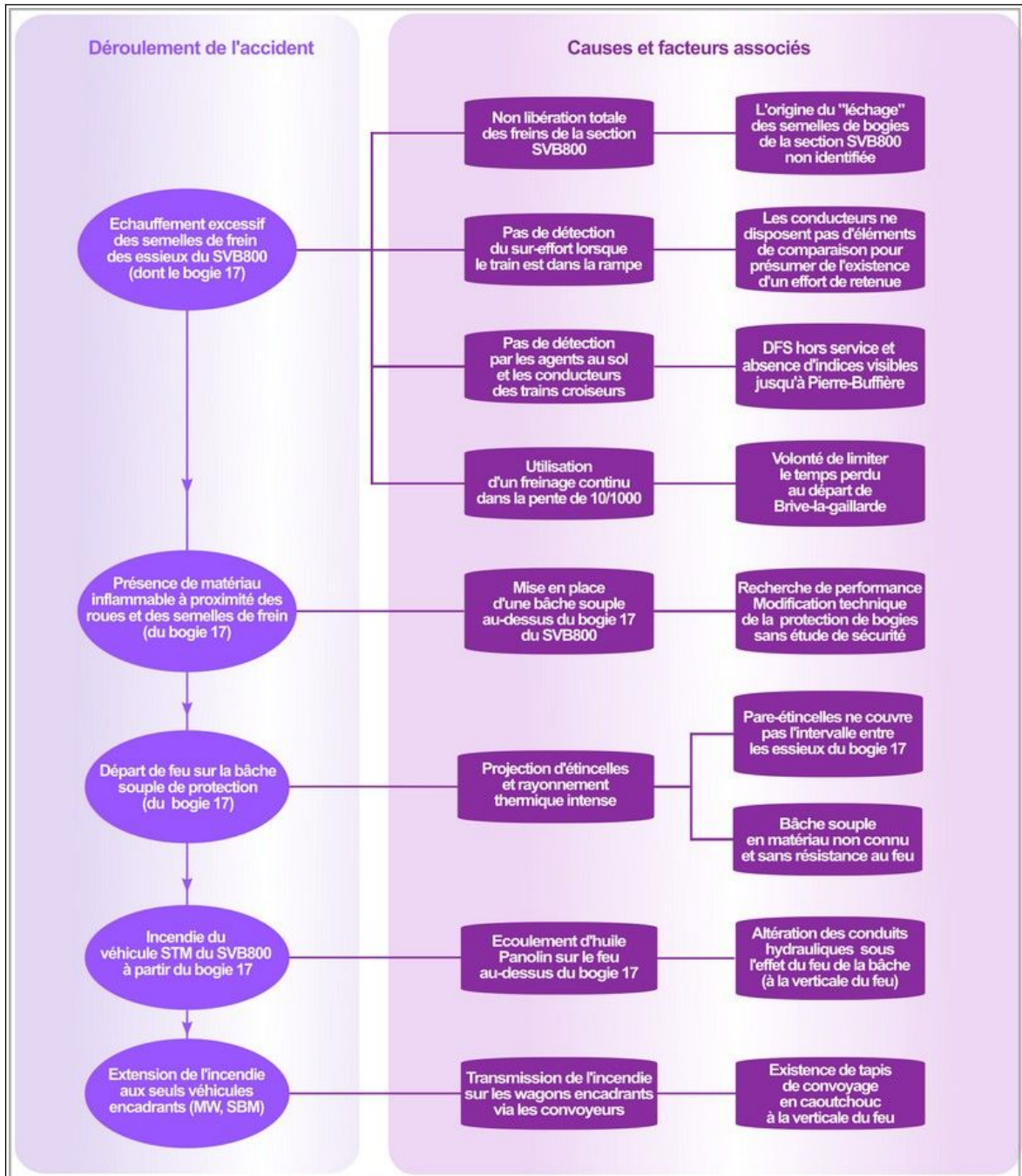


Figure 52 : Arbre des causes

5.2 - Les causes de l'incendie

Les causes de l'incendie s'expriment par la succession des événements suivants :

- un serrage intempestif léger faisant monter en température les semelles de frein de bogies du SVB800 ;
- un freinage maintenu durant la descente sur Limoges ;
- la génération d'étincelles par les semelles de freins quand elles dépassent 650 °C ;
- la présence d'une bâche souple et des pare-étincelles qui confinent la chaleur ;
- la présence de matériaux inflammables (*a minima* ne répondant pas aux contraintes de la norme EN 45545) dans l'environnement immédiat de roues et des semelles de frein du bogie 17 du SVB800. La bâche en matériau souple, les dépôts de matières grasses, voire les pare-étincelles ont constitué un combustible pour entretenir le feu ;
- le déversement d'un combustible depuis les flexibles hydrauliques altérés par ce feu a étendu celui-ci à l'ensemble du véhicule STM.

Le BEA-TT considère qu'il est fort probable que la surcharge avant les essais de frein complet n'ait pas été totalement efficace sur le SVB et que le train soit parti avec une pression résiduelle.

Les facteurs contributifs identifiés seront décrits dans les sous-paragraphes suivants. Ils sont de plusieurs natures :

Les facteurs qui ont créé les conditions d'un possible départ de feu

- L'installation dans la zone d'exclusion entourant les roues et l'environnement immédiat des semelles de freins d'une bâche en matériau souple ne répondant pas aux contraintes de la norme EN 45545, et que le BEA-TT considère comme très probablement inflammable.
- La projection de gerbes d'étincelles à haute température, conjuguée à une couverture non continue entre les roues par les pare-étincelles a créé le départ de feu de la bâche en matériau souple.
- L'impossibilité pratique pour le conducteur de détecter les desserrages incomplets de certains bogies (frottements légers) d'une part, lors des « essais de roulage » et de l'essai dynamique de freinage et, d'autre part, lors de l'avancement en ligne sur un profil exigeant.
- La difficulté pour le conducteur de détecter un éventuel départ de feu ou un frein serré sur son train.

La propagation du feu dans le véhicule STM puis ses encadrants

- L'altération des flexibles hydrauliques à la verticale du bogie 17, L33 et L34, sous la combustion de la bâche souple, conduit au déversement d'un combustible inflammable à haute valeur énergétique sur les flammes. Celle-ci conduit à une extension rapide de l'incendie, 3 à 4 minutes après l'arrêt du train.
- La propagation du feu aux véhicules encadrant le véhicule STM, au MW2 par rayonnement et au SBM, par les tapis des convoyeurs de ballast en partie haute.

5.3 - Les mesures prises depuis l'accident

L'élément SVB800 du train Enorail a été immobilisé sur la base travaux de Limoges jusqu'à la conclusion des enquêtes diligentées. Les autres véhicules du train Enorail et les engins de traction ont été réutilisés sur d'autres chantiers dans le mois qui a suivi l'incendie. Le constructeur a racheté l'élément SVB800 pour un démantèlement en Autriche. À la date du présent rapport, et à la connaissance du BEA-TT, aucune mesure conservatoire n'a été prise par le constructeur pour les constructions futures ni par les exploitants sur les autres engins de travaux équipés des mêmes systèmes de freinage et des mêmes pare-étincelles.

6 - Les recommandations

Les orientations de prévention sont à rechercher dans les domaines suivants :

- la mise en place d'espace coupe-feu autour des sources de feu des véhicules des trains de travaux ;
- l'instrumentation des engins de travaux (a minima les trains de travaux usine) pour prévenir en acheminement d'éventuelles prises de feu ;
- l'amélioration de la prise en compte du « risque feu » dans les différents processus d'autorisation des trains de travaux usine ;
- la formation complémentaire des conducteurs assurant des trains travaux usine ;
- l'augmentation du niveau de disponibilité opérationnelle des installations DBC-DFS ;
- la réduction des risques spécifiques associés aux trajets d'acheminement des trains de travaux usine ;
- l'information rapide des pompiers devant intervenir sur l'incendie d'un train de travaux usine.

6.1 - Mise en place d'espace coupe-feu autour des sources de feu

Le retour d'expérience quant aux trains de fret comme ceux dits de travaux en mode acheminement montre qu'un départ de feu peut avoir lieu du fait de l'environnement inflammable des bogies en cas d'une défaillance d'un système de freinage. Dans le cas présent il s'agit d'une bâche souple et/ou de pare-étincelles. Leur consommation a fragilisé des flexibles hydrauliques, créant les conditions d'une extension du feu par le déversement d'une huile combustible sur les flammes et extension du feu à d'autres éléments inflammables (convoyeurs en matière caoutchouc...).

Cet exemple montre qu'il est nécessaire de prendre les mesures utiles limitant la probabilité d'une prise de feu et de son extension vers des éléments potentiellement inflammables (même s'il est illusoire de considérer une parfaite barrière coupe-feu). Considérant que les sources potentielles d'incendie sont principalement les surfaces de contact des roues et des semelles de frein, il s'agit de mettre en œuvre et de maintenir autour des roues et semelles de frein un environnement permettant d'éviter toute inflammation du véhicule.

Le BEA-TT émet la recommandation suivante concernant la conception et la maintenance des trains de travaux usine.

Recommandation R1 adressée à Plasser & Theurer :

Revisiter les processus de conception des trains de travaux usine afin de prendre les mesures de couverture liées au risque incendie pouvant être induit par un échauffement au niveau du contact roue/semelle et/ou des projections de particules, avec une notion de limite acceptable de durée et température à définir, et de produire la démonstration de sécurité dans les dossiers d'autorisation.

Le BEA-TT invite l'ESPF à communiquer cette recommandation à tous les constructeurs et mainteneurs de trains de travaux usine.

6.2 - Instrumentation des trains de travaux usine pour faciliter leurs opérations de préparation et pour prévenir en acheminement d'éventuelles prises de feu

Les opérations de formation et de surveillance en marche des trains de travaux usine peuvent se révéler difficiles au regard de leur complexité et des moyens humains mis en place : le départ en ligne d'un train avec un défaut latent n'est pas à exclure. Dans ce cas

l'échauffement excessif des semelles de frein résulte de la succession temporelle d'un défaut latent, non vu lors de la préparation du train et des essais de roulage, et d'un trajet d'approche avec une potentielle aggravation rapide de la situation.

Le BEA-TT estime qu'il est utile à la lumière de cet événement de requestionner la conception des trains de travaux usine quant à l'environnement de leurs bogies, source première des prises de feu afin de :

1. Couvrir de manière sûre les risques inhérents à leur préparation :

La partie insécable des trains de renouvellement de voie utilisant des systèmes de freinage au moins partiellement différents des trains de fret, il y a lieu de faire le distinguo. L'utilisation d'un système de télésurveillance interne au train, *a minima* des sections indéformables, peut être mis en place afin de faciliter les opérations humaines de préparation du train et de donner aux agents les informations de nature à révéler au plus tôt d'éventuels défauts latents, notamment des systèmes de freinage au départ en ligne d'un train usine. Ainsi dans le cas d'une accessibilité limitée, visuelle et/ou physique de certains organes, des informations utiles pourraient être délivrées avec un système d'aide à la décision aux agents. À cette fin un automate pourrait assurer les contrôles et l'archivage des points essentiels de la mise en mode convoi effective de l'élément indéformable (contrôle de position, mesures de pression...).

L'élément SVB800 est déjà équipé de différents instruments et possibilités de traitement qui seraient utiles aux opérateurs lors de l'AMOR.

2. Détecter et signaler au conducteur l'apparition d'un désordre dans le train :

L'utilisation d'un système de télésurveillance interne au train (*a minima* des sections indéformables) doit permettre de mesurer et traiter les grandeurs physiques ou logiques pertinentes afin d'alerter le conducteur de l'apparition d'un désordre sur son train et lui donner les informations utiles à son traitement. Celui-ci peut alors prendre les mesures adaptées pour réduire le risque en devenir (échauffement anormal, prise de feu...).

Cet outil pourrait servir de guide à la prise en charge du problème par le conducteur. Il pourrait ainsi être de nature à assurer, pendant la circulation du train, l'acquisition et le traitement des grandeurs physiques révélant l'occurrence de points chauds ou de désordres à bord du train.

Le BEA-TT émet la recommandation suivante à l'égard des entreprises qui conçoivent et utilisent les trains de travaux usine.

Recommandation R2 adressée à Plasser & Theurer :

Créer un groupe de travail avec le constructeur de trains de travaux usine (élément insécable des trains de renouvellement de voie), les exploitants, SNCF Réseau et l'EPSF pour :

- déterminer les éléments complémentaires nécessaires pour en améliorer la performance et, le cas échéant, définir une AMOR intégrant ces nouvelles données ;**
- identifier les moyens d'instrumenter les nouveaux trains de travaux usine afin de détecter au plus tôt l'occurrence d'un désordre sur le train et d'exploiter les données élaborées par les agents de conduite.**

Le BEA-TT invite l'ESPF à communiquer cette recommandation à tous les constructeurs de trains de renouvellement de voie.

6.3 - Amélioration de la prise en compte du « risque feu » dans le processus d'autorisation des trains de travaux usine

Dans toute la mesure du possible, il est nécessaire que les trains de travaux usine puissent être assimilés en mode convoi comme des trains de transport de marchandises. Ces trains de travaux sont de plus en plus performants et aussi de plus en plus complexes, potentiellement générateurs de risques nouveaux. Les réglementations nationales et européennes ne couvrent aujourd'hui qu'imparfaitement l'ensemble des risques spécifiques aux trains de travaux usine modernes.

Dans le cas présent, il s'agit de l'apparition, non détectable par les conducteurs, d'un départ de feu se généralisant en incendie incontrôlé touchant potentiellement l'ensemble du train. Une réflexion doit être menée par les différents acteurs sur les moyens permettant à la conception de réduire ce risque feu. Cette réflexion peut notamment aborder la prise en compte des recommandations du groupe de JNS « frein serré » de l'ERA (ne pas disposer de matériau inflammable à proximité des roues et des semelles de frein...).

Le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R3 adressée à l'EPSF :

Revisiter le cadre réglementaire encadrant les conditions d'autorisation de mise sur le marché des trains de travaux usine afin de mieux maîtriser le risque incendie depuis les bogies lors des circulations en acheminement.

6.4 - Formation spécifique des conducteurs assurant des trains de travaux usine

La conduite de trains de travaux usine requiert, au regard des longueurs et des masses tractées, une compétence particulière quant aux règles de freinage et de surveillance du train et d'intervention en situation dégradée. La conduite en mode acheminement de ce type de train pourrait faire l'objet de directives de conduite spécifiques formalisant les partages de bonnes pratiques et les règles de l'art non décrites par la réglementation.

Cette réflexion peut notamment aborder les points suivants pour limiter les risques d'incendie :

- la réalisation d'un essai de roulage ;
- la surveillance du train en cours de route ;
- l'utilisation des freins pour maintenir la vitesse en pente ;
- les procédures adaptées pour gérer les situations dégradées.

Le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R4 adressée à l'EPSF :

Organiser un groupe de travail avec les experts métiers des opérateurs ferroviaires et, le cas échéant les constructeurs, pour revisiter les référentiels métiers des conducteurs et définir la mise en œuvre d'une formation complémentaire aux conducteurs de train de travaux usine.

6.5 - Amélioration du niveau de performance des enregistreurs ATESS

Les enregistrements actuellement réalisés par les enregistreurs ATESS (enregistreur statique des événements) manquent de précision pour lever certains doutes et pour l'étude du comportement des conducteurs par leur encadrement.

Dans le cadre de cette enquête, il aurait été utile pour se prononcer avec plus de certitude, de disposer des enregistrements des grandeurs suivantes :

- les commandes de la fonction de « surcharge » de la CG (action et libération) ;
- les commandes différenciées de la fonction de freinage (action et libération quantifiées) ;
- la pression dans la conduite générale (et débit d'air depuis l'engin moteur en responsabilité)...

Le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R5 adressée à l'EPSF :

Organiser un groupe de travail avec les opérateurs ferroviaires et les constructeurs d'enregistreurs statiques pour étudier l'extension du champ des informations enregistrées sur les paramètres de commande de freinage, sans s'y limiter.

6.6 - Augmentation du niveau de disponibilité opérationnelle des installations de DFS

L'indisponibilité du DFS n'a pas été un facteur dans la survenue de cet accident mais dans un autre contexte aurait pu constituer une boucle de rattrapage.

Le retour d'expérience montre que ces équipements participent grandement à la sécurité des circulations des trains. Aussi est-il utile de sensibiliser les dirigeants des services de maintenance et de renforcer la résilience des processus de maintien opérationnel de ces installations. Cette recommandation vise à prendre en compte les différents aspects de cette problématique afin que ce type d'installation ne soit qu'exceptionnellement hors service sur un laps de temps court.

Le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R6 adressée à SNCF Réseau :

Revisiter les conditions de maintien en condition opérationnelle des détecteurs de boîtes chaudes et des détecteurs de freins serrés afin de garantir un diagnostic de la panne et une estimation du délai prévisionnel de remise en état dans les 24 heures (dans le cas où la remise en état ne peut être effectuée dans les 24 heures), sans jamais autoriser l'indisponibilité de deux DBC successifs.

Sensibiliser les services de maintenance sur l'importance de ces dispositifs qui contribuent à la sécurité des circulations du RFN.

6.7 - Réduction des risques associés aux trajets d'acheminement des trains de travaux

La réalisation des travaux d'entretien du réseau ferré national requiert de nombreux acheminements de train de travaux entre les circulations commerciales. Le positionnement éloigné des bases arrières disponibles pour la maintenance et le réapprovisionnement des trains de travaux usine requiert la circulation sur de grandes distances de ces trains « en charge ».

Au regard des conditions particulières de circulation de ces trains, celle-ci peut être source de risques pour les circulations commerciales, pour l'infrastructure et pour l'environnement. De plus le nombre de changements de la configuration du train usine (travail versus acheminement) constitue un facteur de risque pour le train et pour son environnement.

La réduction des risques induit pourrait être obtenue par une meilleure coordination entre les entités en charge de l'organisation des chantiers de renouvellement des infrastructures et celles assurant l'organisation de la gestion des circulations.

Le BEA-TT invite SNCF Réseau à revisiter les conditions d'organisation des chantiers et les conditions de circulations des trains de renouvellement de voie pour mieux prendre en compte les risques spécifiques liés à ces acheminements.

6.8 - Information rapide des pompiers devant intervenir sur l'incendie d'un train usine

Les pompiers ne disposaient pas d'information quant à la conception du train et aux risques inhérents aux quantités de matières combustibles transportées. Cette absence d'information a été compensée par la présence opportune d'un cadre Enorail. Elle n'a donc pas eu de conséquence dans notre cas.

Il est important pour les services de secours de disposer de toutes les informations utiles à leur intervention.

Il pourrait être pertinent d'utiliser la même technologie que sur les véhicules routiers récents (« *rescue sheet* » ou flash code). Ils apporteraient aux pompiers les informations sur la nature des combustibles, l'emplacement des réservoirs et les coupe-circuits, etc. Les services des pompiers étant déjà équipés de lecteurs appropriés, il pourrait être utile d'adapter cette technologie au milieu ferroviaire.

Parallèlement, il serait souhaitable que les COGC disposent des données techniques des trains de travaux usine en acheminement afin de fournir dès l'appel des secours aux pompiers toutes les informations utiles à leur intervention.

Le BEA-TT invite l'EPSF à constituer un groupe de travail avec les constructeurs et propriétaires de train usine, les gestionnaires d'infrastructure et les représentants des services de secours afin de rechercher les moyens d'améliorer le niveau d'information initial pour permettre lors de l'appel aux sapeurs-pompiers de fiabiliser le dimensionnement des moyens de secours et les méthodes d'intervention.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS (*version anglaise*)

Causes of the fire

The causes of the fire are expressed in the following sequence of events:

- untimely application of the SVB800 composite brake shoes, causing them to overheat;
- braking maintained during the descent to Limoges;
- the generation of sparks by composite brake shoes when they exceed 650°C;
- the presence of a flexible tarpaulin and spark arresters to contain the heat;
- the presence of flammable materials (*at least not* meeting the requirements of standard EN 45545) in the immediate vicinity of the wheels and composite brake shoes of SVB800 bogie 17. The flexible tarpaulin, grease deposits and even the spark arresters provided fuel for the fire;
- the spillage of fuel from the hydraulic hoses affected by this fire spread the fire to the entire STM vehicle.

The BEA-TT considers that it is highly likely that the overcharge before the full brake tests was not totally effective on the SVB and that the train left with residual pressure.

The contributing factors identified are described in the following sub-sections. They are of several kinds:

The factors that created the conditions for a possible outbreak of fire

- The installation in the exclusion zone surrounding the wheels and the immediate environment of the brake shoes of a tarpaulin made of flexible material that does not meet the requirements of standard EN 45545, and which the BEA-TT considers highly likely to be flammable;
- The projection of high-temperature sparks, combined with non-continuous coverage between the wheels by the spark arresters, caused the flexible tarpaulin to catch fire.
- The practical impossibility for the driver to detect incomplete brake release on certain bogies (light friction) on the one hand, during the "train rolling tests" and the dynamic braking test and, on the other hand, when the train is moving forward on a difficult profile;
- The difficulty for the driver to detect a fire or an applied brake on his train.

The spread of the fire in the STM vehicle and its drivers

- The damage to the hydraulic hoses on the vertical side of bogie 17, L33 and L34, caused by the burning of the flexible tarpaulin, led to the spillage of a high-energy flammable fuel onto the flames. This led to a rapid spread of the fire, 3 to 4 minutes after the train stopped;
- The fire spread to the vehicles surrounding the STM vehicle, to MW2 by radiation and to the SBM via the ballast conveyor belts at the top.

Measures taken since the accident

The SVB800 section of the Enorail renewal-train was immobilised at the Limoges rear-works base until the conclusion of the investigations. The other vehicles of the Enorail train and the traction units were reused on other sites in the month following the fire. The manufacturer bought back SVB800 for dismantling in Austria. As of the date of this report, no precautionary measures have been taken by the manufacturer for future constructions or by the operators for other work equipment fitted with the same braking systems and spark arresters.

Recommendations

Preventive measures should be sought in the following areas:

- defining firebreaks around sources of heat in the bogies of work-train vehicles;
- instrumentation of work-machine (at least factory work-trains) to prevent possible fire outbreaks;
- improving the way in which "fire risk" is taken into account in the various authorisation processes for factory work-trains;
- additional training for drivers on factory work-trains ;
- increasing the operational availability of brake application detection systems;
- reducing the specific risks associated with the routing of factory work-trains;
- rapid notification of firefighters responding to a fire on a works-train.

R1 recommendation to Plasser & Theurer:

Revisit the design processes for factory work trains in order to take measures to cover the fire risk that could be induced by heating at the level of the wheel/sole contact and/or particle projections, with the notion of an acceptable limit of duration and temperature to be defined, and to produce the safety demonstration in the authorisation files.

The BEA-TT invites the ESPF to communicate this recommendation to all manufacturers and maintainers of factory work trains.

Recommendation R2 to Plasser & Theurer:

Set up a working group with the manufacturer of factory work-trains (an inseparable part of track renewal trains), the operators, SNCF Réseau and EPSF to :

- determine what additional elements are needed to improve performance and, if necessary, define an authorisation to place in route order incorporating these new data;
- Identify ways of instrumenting new factory work trains in order to detect the occurrence of a disorder on the train as early as possible and make use of the data compiled by the train drivers.

The BEA-TT invites the ESPF to communicate this recommendation to all manufacturers of track renewal trains.

Recommendation R3 to EPSF:

Revising the regulatory framework governing the conditions for authorising the marketing of factory work trains in order to better control the risk of fire from bogies during transit.

Recommendation R4 to EPSF:

Organise a working group with the rail operators' job experts and, where appropriate, the manufacturers, to revisit the drivers' job descriptions and define the implementation of additional training for factory work train drivers.

Recommendation R5 to EPSF:

Organise a working group with railway operators and manufacturers of static recorders to study the extension of the scope of the information recorded on braking control parameters, but not limited to this.

Recommendation R6 addressed to SNCF Réseau :

Revisit the conditions for maintaining brake application detectors in operational condition in order to guarantee a breakdown diagnosis of the fault and an estimate of the time required to repair within 24 hours (in the event that repair cannot be carried out within 24 hours), without ever authorising the unavailability of two successive systems.

Make maintenance departments aware of the importance of these devices, which contribute to the safety traffic on the national rail network.

The BEA-TT is inviting SNCF Réseau to review the conditions under which worksites are organised and the conditions under which track-renewal trains run, so as to take better account of the specific risks associated with these routes.

The BEA-TT invites the EPSF to set up a working group with the manufacturers and owners of the factory work-trains, the infrastructure managers and the representatives of the emergency services in order to find ways of improving the initial level of information so that, when the fire brigade is called in, the sizing of the emergency resources and the methods of intervention can be made more reliable.

ANNEXES

- Annexe 1 : décision d'ouverture d'enquête
- Annexe 2 : Procédure d'autorisation de mise sur le marché
- Annexe 3 : Considérations techniques relatives au freinage
- Annexe 4 : Considérations relatives aux enregistrements ATESS
- Annexe 5 : État des semelles de freins du SVB800
- Annexe 6 : Expérience suisse quant au freinage en dents de scie
- Glossaire
- Règlement général de protection des données

Annexe 1 – Décision d'ouverture d'enquête

Le Directeur

La Défense, le 01 JUIN 2021

DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre,

Vu le Code des transports et notamment les articles L. 1621-1 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 relatifs, en particulier, à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances de l'incendie d'un train de travaux survenue le 28 mai 2021 à Saint-Hilaire-Bonneval (87) ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-2 et R. 1621-22 du Code des transports concernant l'incendie du train de travaux Enorail de substitution voie et ballast survenu, lors de son acheminement, le 28 mai 2021 à Saint-Hilaire-Bonneval dans la Haute-Vienne.



Jean-Damien PONCET

Annexe 2 – Procédure d'autorisation de mise sur le marché

L'autorisation de mise sur le marché a été délivrée dans une période de transition entre le 3^e et le 4^e paquet ferroviaire. L'élément SVB800 a ainsi fait l'objet d'une procédure particulière. La procédure actuelle relative au 4^e paquet ferroviaire fait l'objet d'une description ci-dessous.

Autorisation dans le cadre du 4^e paquet ferroviaire

L'application des dispositions du 4^e paquet ferroviaire est requise pour la délivrance d'une autorisation de type pour tout nouveau train de travaux, voire pour la reconstruction de la section du SVB800 si elle n'est pas exactement identique à celle autorisée initialement.

Le processus d'autorisation regroupe plusieurs étapes qu'illustre la **figure 52**. L'EPSF, agence nationale de sécurité (ANS) ou NSA en anglais, reçoit le dossier de conception de la section considérée, remis par le promoteur du projet. Celui-ci peut être l'industriel concevant la section ou l'EF supportant le développement. L'EPSF a un mois pour réaliser la complétude de la documentation obligatoire requise. L'EPSF analyse le contenu des documents à la lumière des avis circonstanciés délivrés par les NoBo, DeBo et AsBo (respectivement « organisme notifié » quant au respect des STI, « entité désignée » quant au respect des règles nationales et « entité assignée » quant au respect de la méthode commune de sécurité).

Dans le cas du SVB800, seules les activités encadrées en vert sur la figure seraient nécessaires. À noter que les STI ne sont pas d'application obligatoire pour les trains de travaux et/ou les trains usines de l'infrastructure.

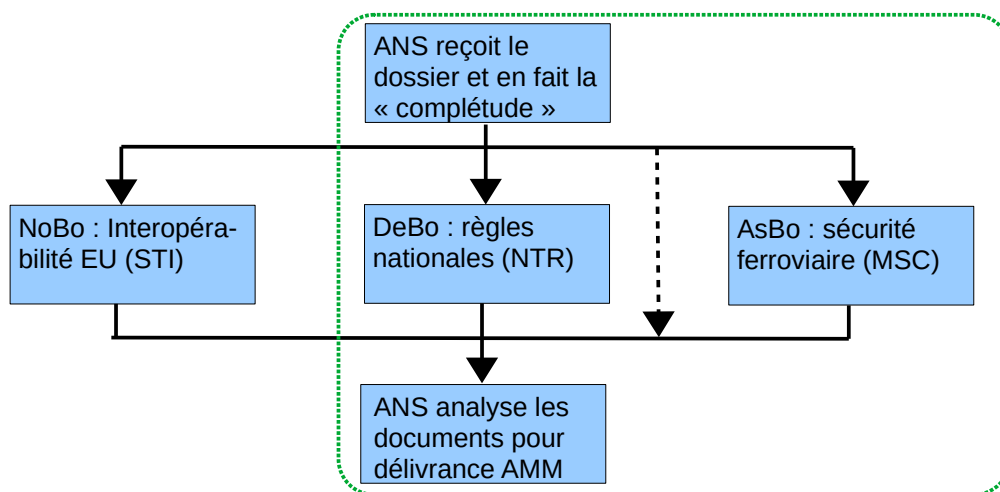


Figure 52 : Tâches requises pour une autorisation de type selon le 4^e paquet ferroviaire

L'autorisation de type et l'AMM (conformité au type) sont sans prérequis quant à l'infrastructure (itinéraire). Elle est nécessaire mais non suffisante pour circuler sur le RFN. À cette fin l'entreprise ferroviaire (EF) exploitant (faisant circuler) cette section sur le RFN doit sous sa propre responsabilité d'une part, le faire immatriculer et, d'autre part, réaliser une « étude de compatibilité avec l'itinéraire ». L'EF dispose à cet effet des informations de la base de donnée européenne dénommée RINF et des éléments complémentaires nécessaires que le gestionnaire d'infrastructure devra lui communiquer.

Normes de résistance au feu

Certificat obtenu pour la tenue au feu du matériau des pare-étincelles en fibre de verre.

A – Rapport de contrôle n° 2014-1272 :

- Essai de propagation de la flamme des produits de construction en position verticale selon ISO 5658-2 (2006) ;
- Test de la densité des fumées et de la toxicité des gaz de combustion d'un matériau dans une chambre d'essai selon EN ISO 5659-2 (2012) ;
- Test du taux de dégagement de chaleur, d'enroulement de fumée et de perte de poids selon ISO 5660-1 (2002) ;
- Évaluation selon la nouvelle norme ferroviaire EN 45545-2 2013.

Le rapport stipule notamment que les essais ont été réalisés sur un matériau :

- Résine : BÜFA-Tirestop 8175-W-1 716-8175 ;
- Gelcoat : BÜFA-Firestop S 272-2 (1000 µm humide) ;
- Fibres de verre : 8 couches 300 g/m² liées par émulsion ;
- Couleur : gris clair (côté Gelcoat) ;
- Épaisseur : 3,7 – 6 mm ;
- Poids surfacique : I.M. 9,8 kg/m² ;
- Disposition de l'essai : côté Gelcoat vers l'émetteur ou la source d'allumage ;

Avec les résultats suivants :

- Atteinte de la marque de mesure de 50 mm du point de chauffe après 70 s, 350 mm après 550 s par une combustion en surface ;
- Extension du front de flamme jusqu'à 350 mm (du point de chauffe) ;
- Durée totale de l'essai 1 200 s ;
- Carbonisation / décoloration jusqu'à 500 mm ;
- Caractéristiques de l'incendie déterminées :
- Q_{sb} : Chaleur pour une cuisson soutenue = 7,47 MJ/m² ;
- CFE : Flux de chaleur critique à l'extinction = 23,4 KW/m² ;
- Avec flux thermique nominal : 50 KW/m² :
 - Temps d'allumage : 42 s ;
 - Taux de dégagement de chaleur (180 s) : 53,38 KW/m² ;
 - Temps de densité optique maximale : 780 s ;

Le rapport précise notamment que le résultat de l'essai au feu est valable pour le matériau décrit plus avant. Et qu'en cas d'association avec d'autres matériaux (par exemple revêtements, dépôts), le comportement au feu peut être influencé, de sorte que la classification susmentionnée n'est plus valable.

B – Confirmation de la sécurité incendie :

Le « matériau » à la base des pare-étincelles répond aux exigences de la norme EN 45545 dans le jeu d'exigences R1 avec le niveau de risque de niveau 2 (les bases de ce certificat reposent sur les tests effectués par le laboratoire EXOVA dans le cadre du précédent rapport 2014-1272 du 21 mars 2014).

Les matériaux à la base des flexibles hydrauliques, des conducteurs électriques doivent, au moins dans les compartiments pouvant être occupé par du personnel, répondre aux exigences de la norme EN 45545 (version 2016).

Annexe 3 – Considérations techniques relatives au freinage

Le frein pneumatique dans le ferroviaire

Le frein pneumatique est une technologie de freinage ancienne et répandue. Elle permet notamment d'intégrer tout véhicule ou voiture dans la composition du train sans requérir d'équipement particulier. Les consignes de freinage passent sous forme de variation de pression dans la « conduite générale de frein » qui est installée sur toute la longueur du train. Une dépression dans la conduite générale actionne les semelles de freinage sur les roues. En mode acheminement seul ce mode de freinage est normalement actif.

Les semelles composites CoFren K 333

Le champ d'application des semelles K CoFren 333 correspond au profil de la section de ligne Brive-la-Gaillarde à Limoges :

- Vitesse limite du véhicule inférieure ou égale à 120 km/h ;
- Charge à l'essieu 22,5 tonnes ;
- Déclivité maximale 40/1000.

L'usure des roues avec semelles K 333 est d'environ un quart de celle relevée avec des semelles organiques ou fonte. Le rapport d'essai au banc pour homologation UIC montre qu'avec une température initiale de 20 °C, la température de la semelle atteint 475 °C après 34 min d'un freinage en modérabilité de 45 kW à 70 km/h.

La surcharge

Les locomotives sont équipées d'un robinet de frein à commande électrique de type PBL (Presse-Bouton-Locomotive). La partie commande proprement dite est située sur le pupitre de la cabine de conduite et les organes de commande sont regroupés sur un tableau appelé block frein. Les robinets de frein type « PBL » sont équipés de la fonction « surcharge ». En valeur nominale, les robinets de frein alimentent les équipements de frein des locomotives et des véhicules à une pression de 5 bar.

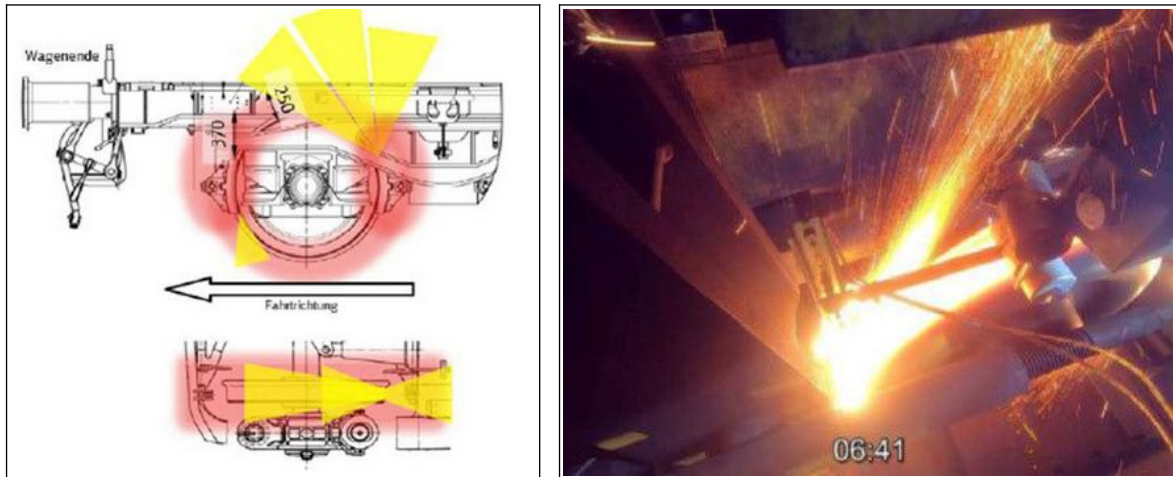
Les réservoirs de commande (RC) des différents wagons associés dans un train peuvent avoir des pressions légèrement différentes. Pour palier ce problème, on utilise la fonction « surcharge » qui permet d'alimenter tous les RC à 5,4 bar et ainsi garantir le desserrage complet de tous les équipements du train. Avant d'effectuer le serrage, il faut éliminer cette surcharge sans commander le verrouillage des RC. Pour cela, lorsque l'interrupteur de commande de la surcharge est placé sur « off », l'élimination des 0,4 bar de surcharge se fait par l'intermédiaire d'un trou de fuite calibré qui permet une élimination lente (environ 3 minutes). Cette action permet grâce à l'insensibilité aux baisses lentes de pression (point 1.10.1 de l'UIC 540) d'équilibrer la pression entre la conduite générale et les RC. L'élimination de la surcharge se fait au niveau du robinet de frein du mécanicien. Si le processus d'élimination de la surcharge est interrompu avant son terme puis suivi d'un serrage, une réalimentation de la conduite générale en mode nominal de 5 bar peut ne pas être suffisante pour garantir le desserrage de tous les véhicules du train. La réalisation imparfaite de l'opération de surcharge à chaque adjonction d'élément à la locomotive de manœuvre peut donc constituer un « mode commun » quant au dysfonctionnement de distributeurs du train.

La surcharge est nécessaire pour les essais de frein complets et de continuité. Le référentiel du constructeur précise que lors de la reconstitution du train Enorail et afin d'éviter un frottement léger de semelles avec la roue, il convient de faire une surcharge à 5,4 bar pour positionner correctement les différents distributeurs du SVB800.

Comportement du couple « semelles – roue » en situation de frein serré

Le rapport du "Joint Network Secretariat Urgent Procedure Task Force -Extreme effects of thermal overload in special cases of freight operation" de l'ERA publié le 2 février 2022 montre qu'en situation de frein serré avec des semelles composites de type LL ou K, un échauffement important du bandage de la roue et des semelles apparaît. Celui-ci peut conduire à l'apparition de flammes sur le bandage et à la projection d'étincelles à haute température depuis le point de contact semelle-roue

Les figures suivantes illustrent ce constat :



Effet d'un freinage prolongé (source JNS)

Deux zones sont affectées par la chaleur : l'une est créée par le bloc de frein, par la chaleur radiante et les flammes nues (jaune) et la seconde est due à l'échauffement de la bande de roulement de la roue (rouge).

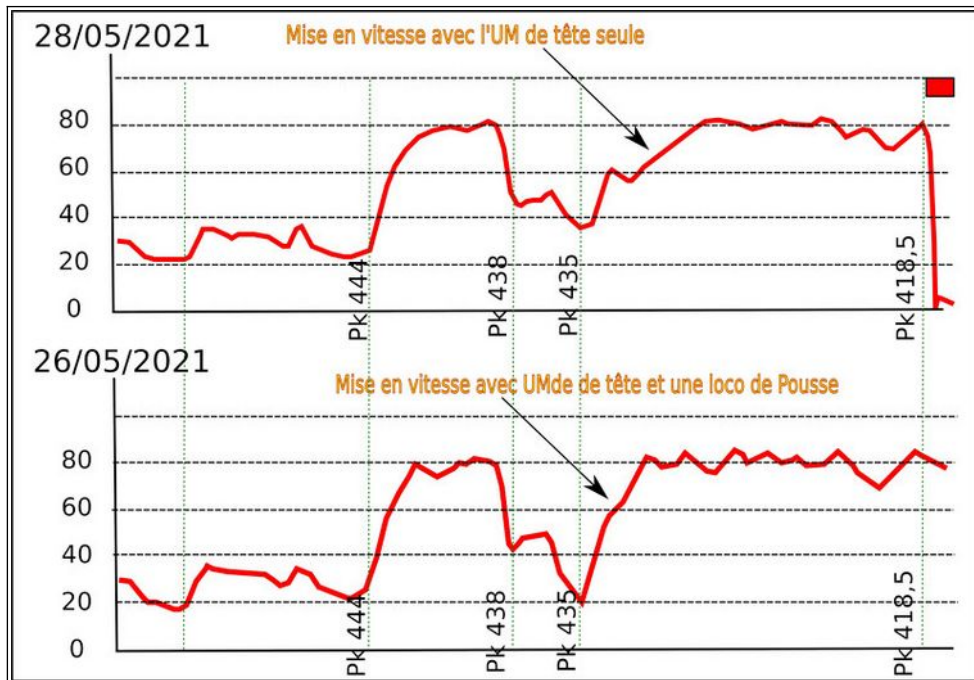
Dans sa plus grande extension, la zone affectée par la chaleur des flammes nues était de 370 mm au-dessus du bloc de frein. À la limite de cette zone, des températures de 115 °C ont été déterminées. À l'arrêt, avec le frein relâché et la ventilation inactive, une flamme se développe à une hauteur d'environ 20 cm au-dessus du bord supérieur du bloc frein.

La zone affectée par la chaleur radiante des corps de roue a été estimée et concerne une zone d'environ 250 mm autour de la circonférence de la roue, mesurée à partir de la bande de roulement. Il est peu probable que des matériaux combustibles s'enflamment sous l'effet de la chaleur rayonnante à une distance de 250 mm de la surface de la bande de roulement de la roue.

Annexe 4 – Considérations relatives aux enregistrements ATESS

Comparaison des relevés ATESS des trajets du train le 26 et le 28 mai 2021

À la lecture des enregistrements ATESS de l'UM de poussa, le conducteur ne commande aucun effort, ce qu'il a confirmé lors de son interview. Ceci expliquerait une accélération différente sur ces 2 dates si le 26/05 l'engin de poussa était en effort conjugué avec ceux de tête.



Comparaison des relevés ATESS du 26 et du 28 mai 2021

Les enregistrements montrent que les deux UM ont franchi la rampe à pleine puissance (1 500 kW chaque) et que l'UM de poussa a interrompu sa traction au Pk 434,5, à la différence des marches des 25 et 26/05/21.

Annexe 5 – État des semelles de freins du SVB800

Relevé des températures des essieux (3h30 après l'arrêt du train)

Nom Véhicule	Essieu	KE (distributeur de frein)	Température des semelles (mesurée 3h après le début de l'incendie)	Température des boîtes d'essieux (mesurée 3h après le début de l'incendie)	Effort retardataire par bogie avec différence CG/RC = 0,4 bar	Effort retardataire maximum à pression de freinage maximale	Etat semelles et peinture des roues	Pression de freinage maximal			
MKTW (véhicule énergie avant)	L01	KE1 (200L // 40L)	45°C	34°C	4,82 kN	18,09 kN		1,6 bars			
	L02		47°C	34°C							
	L03		47°C	33°C	4,82 kN	18,09 kN			1,6 bars		
	L04		51°C	33°C							
PWW (PWW1 = véhicule de paléttisation + PWW2 = véhicule de transfert de traverses)	A05	KE2 (200L // 40L)	51°C	35°C	3,81 kN	14,3 kN			1,4 bars		
	A06		51°C	35°C							
	L07		51°C	35°C	4,14 kN	15,51 kN		1,4 bars			
	L08		51°C	35°C							
	A09	KE3 (100+100L // 40L)	22°C	17°C	4,14 kN	21,92 kN		1 bars			
	A10		22°C	19°C							
	A11		21°C	18°C	5,85 kN	21,92 kN			2 bars		
	A12		21°C	18°C							
SWAL (SWAL avant = Véhicule de substitution - rails traverses + SWAL arrière = Véhicule de substitution - remise en rail)	L13	KE4 (100+100L // 40L)	21°C	19°C	8,61 kN	32,28 kN			2,7 bars		
	L14		22°C	19°C							
	L15		23°C	17°C	8,61 kN	32,28 kN			2,7 bars		
	L16		23°C	18°C							
	L17	?	?	?	?	1 bar					
	L18	?	?								
	L19	KE5 (100+100L // 40L)	?	?	?	?		1 bar			
	L20		?	?							
	L21		34°C	30°C	4,82 kN	18,09 kN			1,6 bars		
	L22		48°C	32°C							
	L23		42°C	31°C	4,82 kN	18,09 kN				1,6 bars	
	L24		44°C	32°C							
MW (MW1 = Véhicule énergie arrière - génératrice + MW2 = véhicule énergie arrière) réservoir HY)	A25	KE6 (200L // 40L)	53°C	37°C	6,86 kN	25,73 kN				2,3 bars	
	A26		53°C	37°C							
	A27		52°C	39°C	6,86 kN	25,73 kN			2,3 bars		
	A28		43°C	40°C							
	A29	KE7 (200L // 40L)	41°C	36°C	8,22 kN	30,81 kN			2,7 bars		
	A30		39°C	31°C							
	L31		?	?	8,61 kN	32,28 kN			2,7 bars		
	L32		?	?							
STM (STM1 = Véhicule traitement banquette et bourrage + STM2 =)	L33	KE8 (pour 3 boggies : 200+57L // 40L)	?	?	8,61 kN	32,28 kN			2,7 bars		
	L34		?	?							
	L35		?	?	8,61 kN	32,28 kN				2,7 bars	
	L36		?	?							
	A37		26°C	27°C	8,22 kN	30,81 kN					2,7 bars
	A38		40°C	33°C							
SBM (Véhicule criblage et ballastage)	L39	KE9 (200L // 40L)	57°C	41°C	8,61 kN	32,28 kN		2,7 bars			
	L40		57°C	37°C							
	L41		54°C	38°C	8,61 kN	32,28 kN			2,7 bars		
	L42		54°C	38°C							

État des semelles de frein, voile des roues, pare-étincelles, bâche souple

Nom Véhicule	Bogie	Essieu	Type d'essieu	Moteur (oui / non)	N° Roue	Diamètre roue (mm)	KE (distributeur de charge)	Mesure charge/ess 25/09/19	Semelle	Voile roue	Etat Pare Etincelle	KE intéressé	Jupe protection	
MKTW (véhicule énergie avant)	1	L01	FRA35	non	1	920	KE1 (200L // 40L)	10,73	Rouge +	Décollement	Présent	KE1 (200L // 40L)		
				non	2									
		non	3											
		non	4											
	2	L03	FRA35	non	5			11,09	Rouge +	Décollement	Présent			
				non	6									
		non	7											
		non	8											
PWW (PWW1 = véhicule de palé tisation + PWW2 = véhicule de transfert de traverses)	3	A05	FRA45	oui	9	920	KE2 (200L // 40L)	19,57	Rouge	-	Présent	KE2 (200L // 40L)		
				oui	10									
		oui	11											
		oui	12											
	4	L07	FRA35	non	13			19,59	Rouge	-	Présent			
				non	14									
		non	15											
		non	16											
	5	A09	FRA45	oui	17			16,49	Rouge	-	Présent			
				oui	18									
		oui	19											
		oui	20											
6	A11	FRA45	oui	21	16,05	Rouge	-	Présent						
			oui	22										
	oui	23												
	oui	24												
SWAL (SWAL avant = Véhicule de substitution - rails traverses + SWAL arrière = Véhicule de substitution - remise en rail)	7	L13	FRA35	non	25	850	KE3 (100+100L // 40L)	22,36	Rouge	-	Présent			
				non	26									
		non	27											
		non	28											
	8	L14	FRA35	non	29			21,93	Rouge	-	Présent			
				non	30									
		non	31											
		non	32											
	9	L15	FRA35	non	33			21,98	Rouge	-	Présent			
				non	34									
		non	35											
		non	36											
10	L16	FRA35	non	37	22,35	Rouge	-	Présent						
			non	38										
	non	39												
	non	40												
11	L17	FRA48	non	41	19,22	Sans objet	Sans objet	Présent						
			non	42										
	non	43												
	non	44												
12	L18	FRA48	non	45	19,93	Sans objet	Sans objet	Présent						
			non	46										
	non	47												
	non	48												
13	L19	FRA48	non	49	19,98	Sans objet	Sans objet	Présent						
			non	50										
	non	51												
	non	52												
14	L21	FRA35	non	53	12,09	Rouge	-	Présent						
			non	54										
	non	55												
	non	56												
15	L22	FRA35	non	57	11,40	Rouge	-	Présent						
			non	58										
	non	59												
	non	60												
16	L23	FRA35	non	61	11,76	Rouge	-	Présent						
			non	62										
	non	63												
	non	64												
MW (MW1 = Véhicule énergie arrière - génératrice + MW2 = véhicule énergie arrière) réservoir HY)	13	A25	FRA45	oui	49	920	KE4 (100+100L // 40L)	15,39	Rouge +	Décollement	Présent	KE4 (100+100L // 40L)		
				oui	50									
		oui	51											
		oui	52											
	14	A26	FRA45	oui	53			15,07	Rouge +	Décollement	Cloques			
				oui	54									
		oui	55											
		oui	56											
15	A27	FRA45	oui	57	19,50	Rouge	Décollement	Présent						
			oui	58										
	oui	59												
	oui	60												
16	A29	FRA45	oui	61	18,08	Rouge	Décollement	Cloques						
			oui	62										
	oui	63												
	oui	64												
STM (STM1 = Véhicule traitement banquette et bourrage + STM2 =)	17	L31	FRA35	non	61	920	KE5 (100+100L // 40L)	21,64	Rouge	Décollement	Cloques	KE5 (100+100L // 40L)		
				non	62									
		non	63											
		non	64											
	18	L32	FRA35	non	65			22,02	Rouge	Décollement	Cloques			
				non	66									
		non	67											
		non	68											
19	L33	FRA35	non	69	21,74	Rouge +	Incendie	Incendie						
			non	70										
	non	71												
	non	72												
20	L34	FRA35	non	69	21,90	Rouge +	Incendie	Incendie						
			non	70										
	non	71												
	non	72												
21	L35	FRA35	non	73	21,95	Rouge +	Décollement	Incendie						
			non	74										
	oui	75												
	oui	76												
22	A37	FRA45	oui	73	22,09	Rouge +	Décollement	Incendie						
			oui	74										
	oui	75												
	oui	76												
23	A38	FRA45	oui	77	20,88	Rouge	Décollement	Présent						
			oui	78										
	non	79												
	non	80												
24	L39	FRA35	non	77	20,63	Rouge +	Décollement	Cloques						
			non	78										
	non	79												
	non	80												
25	L40	FRA35	non	81	20,62	Rouge +	Décollement	Cloques						
			non	82										
	non	83												
	non	84												
26	L41	FRA35	non	81	19,33	Rouge +	Décollement	Cloques						
			non	82										
	non	83												
	non	84												
27	L42	FRA35	non	83	18,97	Rouge +	Décollement	Cloques						
			non	84										
	non	85												
	non	86												

Jupe rigide

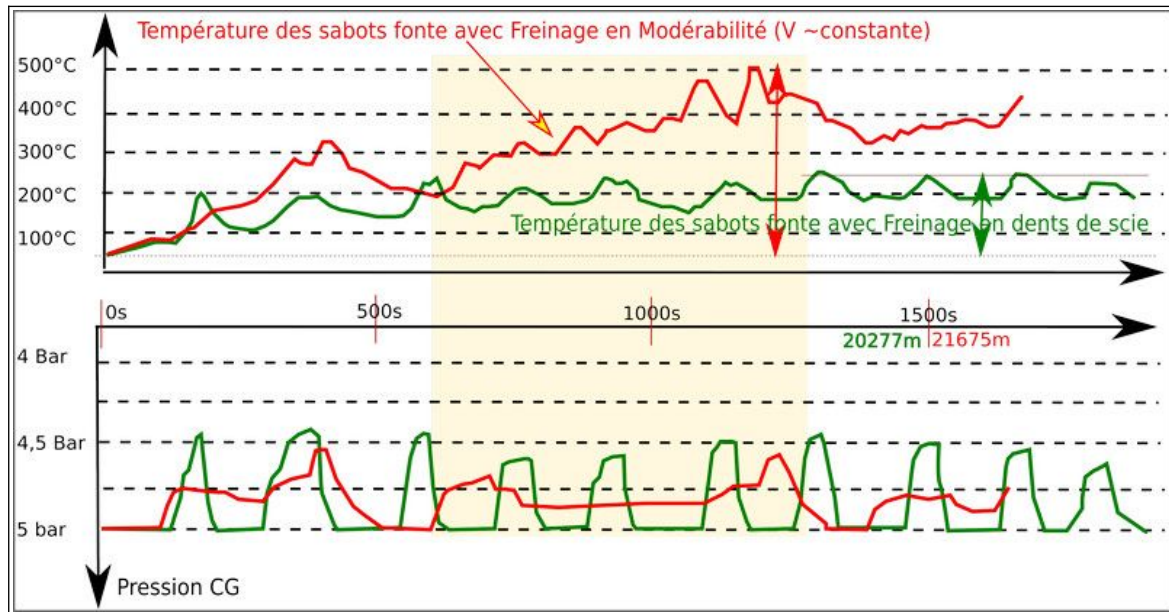
Jupe souple additionnelle

Jupe rigide

Jupe souple additionnelle

Annexe 6 – Expérience suisse quant au freinage en dents de scie

Expérimentation menée dans le tunnel du Gothard dans les années 2000



Extrait de la réglementation de conduite R.300.14 des CFF-BLS quant aux freinages en palier ou en dents de scie

Freins	R 300.14
2.7	Utilisation du frein automatique pendant la marche
2.7.1	Réduction de vitesse et freinage d'arrêt de convois avec des wagons de marchandises et des véhicules de service freinés avec le frein à air comprimé Pour circuler sur des aiguilles en position déviée qui peuvent être franchies au plus à 40 km/h, il faut observer ce qui suit : <ul style="list-style-type: none"> – pour une diminution de la vitesse ou pour l'arrêt, une réduction ne dépassant pas 0,5 bar de la pression de la conduite générale devrait être effectuée, excepté en cas de danger. – en cas d'arrêt, si la pression dans la conduite générale a été abaissée de plus de 1 bar, il faut, avant de poursuivre la marche, contrôler sur place, avec le frein automatique desserré, l'ensemble du train ou le mouvement de manœuvre pour s'assurer qu'il n'y ait aucune irrégularité.
2.7.2	Utilisation du frein automatique à air comprimé pour les trains à voie normale sur les pentes <ul style="list-style-type: none"> – Méthode en dents de scie En cas de circulation sur des pentes avec une vitesse maximale autorisée supérieure à 40 km/h, sitôt que le frein électrique des véhicules moteurs ne suffit plus pour maintenir la vitesse, il faut appliquer la méthode en dents de scie. De ce fait, sur les pentes, une surcharge thermique des roues, des disques de freins et des sabots est évitée et le risque d'épuisement des freins est exclu. Avec un serrage efficace (abaissement de la pression dans la conduite générale à 4,6 jusqu'à 4 bars), il faut réduire la vitesse en conséquence pour qu'une durée d'au minimum 90 secondes soit disponible entre le desserrage et le prochain serrage des freins. Dans ce but, la vitesse du train doit être réduite selon la formule suivante : $\text{Réduction de vitesse (km/h)} = \frac{2 \times \text{poids du train (t)}}{100}$ La durée du freinage nécessaire à la réduction de la vitesse ne devrait pas dépasser 60 secondes. Ensuite pour le desserrage, seul la position de marche du robinet de mécanicien doit être utilisée. Il faut vérifier si l'intervalle de 90 secondes jusqu'au prochain serrage est respecté. Si nécessaire, il faut adapter la réduction de vitesse. Le frein à air du véhicule moteur doit si possible être desserré.

638

01.07.2020

Freins	R 300.14
	<ul style="list-style-type: none"> – Méthode de freinage gradué Avec les trains dont les véhicules moteurs sont dépourvus de frein électrique ou dont le frein électrique est en dérangement, il faut utiliser la méthode de freinage gradué pour circuler sur les pentes. Pour maintenir la vitesse, il faut alors régler la pression de la conduite générale entre 4,6 jusqu'à 4,4 bars. Il faut éviter de rouler avec une valeur de pression trop proche de la limite du desserrage de 4,8 bars. Le frein à air des véhicules moteurs ne doit pas être desserré. Si nécessaire, les entreprises de transport ferroviaire règlent dans les prescriptions d'exploitation une réduction de la vitesse maximale.
2.7.3	Point d'arrêt immédiatement avant un obstacle ou arrêt immédiatement devant un signal présentant l'image arrêt Pour circuler <ul style="list-style-type: none"> – en direction d'un signal présentant l'image arrêt – sur une voie en cul-de-sac – sur une voie occupée ou à utilisation restreinte – en direction de barrières ouvertes, il faut freiner modérément et suffisamment tôt pour réduire la vitesse afin de pouvoir renforcer le freinage pour l'arrêt ou en cas de danger. Le frein électrique ne doit être utilisé, pour l'entrée sur une voie en cul-de-sac, que si son efficacité est automatiquement compensée par d'autres moyens de freinage en cas d'absence de tension à la ligne de contact. Pour les rames automotrices, les prescriptions d'exploitation correspondantes des entreprises de transport ferroviaire sont applicables.
2.7.4	Dételage du véhicule moteur, changement de cabine de conduite Avant de dételer le véhicule moteur, la charge remorquée doit être freinée avec le frein automatique. Pendant le changement de cabine de conduite, le véhicule moteur ou le train-navette doit être freiné au moyen du frein automatique ou selon les directives de l'entreprise de transport ferroviaire.

01.07.2020

639

Glossaire

- **AC** : Agent-Circulation [exploitation]
- **AMM** : Autorisation de Mise sur le Marché
- **AMOR** : Autorisation de Mise en Ordre de Route
- **ANOT** : Formulaire d'ANOMalie Train
- **ATESS** : Acquisition et Traitement des Événements de sécurité Statique [train] ou JRU : *Juridical Recording Unit* en anglais
- **BG** : Bande Graphique d'enregistrement des paramètres de conduite
- **CG** : Conduite générale du freinage
- **DBC-DFS** : Détecteur de Boite Chaude et Détecteur de frein serré, système de 4^e génération
- **DeBo** : Designed Body, Organisme désigné pour vérifier l'application des règles nationales
- **NoBo** : Notified Body, Organisme notifié pour vérifier l'application des STI
- **AsBo** : Assessment Body, Organisme d'évaluation de l'analyse des risques
- **DGS** : Engin motorisé de stabilisation de la voie ballastée
- **ECE** : Entité en Charge de l'Entretien
- **EPSF** : Établissement Public de Sécurité Ferroviaire
- **FAMAD** : Frein Automatique Modérable Au Desserrage
- **G1206** : Engin de traction thermique de fabrication Vossloh
- **GI** : Gestionnaire d'Infrastructure
- **GSM-R** : Global System for Mobile Communications – Railways, en français système global de communication sans fil pour le ferroviaire [phonie et support du système d'alerte radio]
- **K** : Semelle de freinage « composite » – fabrication CoFren 333
- **MFS** : Véhicules Multi Fonction
- **Pk** : Point kilométrique
- **RAT** : Reconnaissance à l'Aptitude au Transport
- **RFN** : Réseau Ferré National
- **RVB** : Chantier de renouvellement de voie
- **SNCF Réseau** : Gestionnaire d'infrastructure en charge de la gestion opérationnelle des circulations et des installations fixes – Entreprise Ferroviaire pour la circulation des trains de travaux
- **STEM** : Surveillance des Trains En Marche [humaine en gare]
- **SVB800** : Train de remplacement de voie avec récupération du ballast, libération des rails, bourrage de la voie et stabilisation. Il est constitué de manière indissociable des véhicules :
 - **MKTW** : véhicule énergie avant,
 - **PWW** : véhicules de palettisation et de transfert de traverses,
 - **SWAL** : véhicule de substitution rails, traverses et de remise en rail,
 - **MW** : véhicule énergie arrière génératrice et réservoir,
 - **STM** : véhicule de bourrage et de stabilisation dynamique partielle,
 - **SBM** : véhicule de criblage du ballast et ballastage.
- **Train de travaux usine** : section de train insécable comportant plusieurs véhicules
- **UM** : Unité Multiple pour deux engins de traction
- **WSC** : Cabine de supervision de l'élément SVB800

Règlement général de protection des données

Le bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) est investi d'une mission de service public dont la finalité est la réalisation de rapports sur les accidents afin d'améliorer la sécurité des transports terrestres (articles L. 1621-1 et 1621-2 du code des transports, voir la page de présentation de l'organisme).

Pour remplir cette mission, les personnes chargées de l'enquête, agents du BEA-TT habilités ainsi que d'éventuels enquêteurs extérieurs spécialement commissionnés, peuvent rencontrer toute personne impliquée dans un accident de transport terrestre (articles L. 1621-14) et recueillir toute donnée utile.

Ils traitent alors les données recueillies dans le cadre de l'enquête dont ils ont la responsabilité uniquement pour la seule finalité prédéfinie en garantissant la confidentialité des données à caractère personnel. Les rapports d'enquêtes sont publiés sans le nom des personnes et ne font état que des informations nécessaires à la détermination des circonstances et des causes de l'accident. Les données personnelles sont conservées pour une durée de 4 années à compter de la publication du rapport d'enquête, elles sont ensuite détruites.

Le traitement « Enquête accident BEA-TT » est mis en œuvre sous la responsabilité du BEA-TT relevant du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires (MTECT). Le MTECT s'engage à ce que les traitements de données à caractère personnel dont il est le responsable de traitement soient mis en œuvre conformément au règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données (ci-après, « *règlement général sur la protection des données* » ou RGPD) et à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés.

Les personnes concernées par le traitement, conformément à la législation en vigueur, peuvent exercer leurs droits auprès du responsable de traitement : **droit d'accès aux données, droit de rectification, droit à la limitation, droit d'opposition.**

Pour toute information ou exercice de vos droits, vous pouvez contacter :

1- Le responsable de traitement, qui peut être contacté à l'adresse suivante :

- à l'adresse : bea-tt@developpement-durable.gouv.fr
- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse suivante :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

A l'attention du directeur du BEA-TT

Grande Arche - Paroi Sud, 29^e étage, 92055 LA DEFENSE Cedex

2- Le délégué à la protection des données (DPD) du MTECT :

- à l'adresse suivante : dpd.daj.sg@developpement-durable.gouv.fr ;
- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse suivante :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

A l'attention du Délégué à la protection des données

SG/DAJ/AJAG1-2

92055 La Défense cedex

Vous avez également la possibilité d'adresser une réclamation relative aux traitements mis en œuvre à la Commission nationale informatique et libertés (3 Place de Fontenoy - TSA 80715 - 75334 PARIS CEDEX 07).



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex

Téléphone : 01 40 81 21 83

bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

