



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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

Rapport final

du Service suisse d'enquête

de sécurité SESE

sur la dérive d'un convoi

du 9 juin 2022

à Sendy-Sollard

N° reg. 2022060901

Service suisse d'enquête de sécurité SESE
3003 Berne
Tel. +41 58 466 33 00, Fax +41 58 466 33 01
info@sust.admin.ch
www.sese.admin.ch

Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport a été exclusivement établi dans le but de prévenir les accidents et les incidents graves survenant lors de l'exploitation de chemins de fer, d'installations de transport à câble et de bateaux. L'enquête de sécurité et le présent rapport n'ont expressément pas pour but d'établir une culpabilité ou une responsabilité¹. Si ce rapport est utilisé à d'autres fins que la prévention des accidents, il convient d'en tenir compte.

Pour des raisons de protection de la personnalité de toutes les personnes physiques et de leurs fonctions, la forme masculine est utilisée dans ce rapport, indépendamment de leur sexe.

¹ Article 15 de la loi fédérale sur les chemins de fer du 20 décembre 1957 (LCdF), état le 1^{er} septembre 2023 (RS 742.101)

Table des matières

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Résumé | 6 |
| 1.1 | Présentation succincte | 6 |
| 1.2 | Aperçu | 6 |
| 1.3 | Cause | 6 |
| 1.4 | Recommandations de sécurité | 7 |
| | Glossaire | 8 |
| 2 | Faits établis | 9 |
| 2.1 | Lieu de l'événement | 9 |
| 2.2 | Enquête | 10 |
| 2.3 | Généralité | 10 |
| 2.4 | Situation avant l'évènement | 10 |
| 2.5 | Déroulement de l'événement | 12 |
| 2.6 | Dommmages | 13 |
| 2.6.1 | Personne | 13 |
| 2.6.2 | Infrastructure | 13 |
| 2.6.3 | Véhicules | 13 |
| 2.7 | Personnes impliquées et concernées | 13 |
| 2.7.1 | Personnel ferroviaire | 13 |
| 2.7.2 | Mécanicien | 13 |
| 2.7.3 | Chef de manœuvre | 13 |
| 2.8 | Entreprises impliquées et concernées | 14 |
| 2.8.1 | Gestionnaire de l'infrastructure | 14 |
| 2.8.2 | Entreprise de transport | 14 |
| 2.8.3 | Propriétaire du véhicule | 14 |
| 2.8.4 | Autre | 14 |
| 2.9 | Infrastructure | 14 |
| 2.9.1 | Installations ferroviaires | 14 |
| 2.9.2 | Constatations | 14 |
| 2.10 | Véhicules | 14 |
| 2.10.1 | Locomotive | 14 |
| 2.10.2 | Wagons ballastière | 18 |
| 2.11 | Evaluation de l'enregistrement des données | 20 |
| 2.11.1 | Tachygraphe | 20 |
| 2.12 | Examens particuliers | 22 |
| 2.12.1 | Météo, visibilité, état des rails | 22 |
| 2.12.2 | Facteurs ayant influencé le comportement humain | 22 |
| 2.12.3 | Système de management intégré | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.12.4 | Calcul de freinage..... | 23 |
| 2.12.5 | Rapport d'expert pour l'homologation..... | 23 |
| 2.13 | Essais dynamiques..... | 24 |
| 2.14 | Règlementation..... | 26 |
| 2.14.1 | Règlementation PCT..... | 26 |
| 2.14.2 | Règlementation DE-OCF..... | 27 |
| 2.14.3 | Règlementation MOB, annexe à l'horaire de service..... | 28 |
| | Locomotive HGem 2/2 : 11 t..... | 28 |
| 2.14.4 | Directive OFT – Homologation des véhicules..... | 28 |
| 2.15 | Cas de dérive similaire sur le réseau des TPC..... | 29 |
| 3 | Analyse..... | 30 |
| 3.1 | Aspects techniques..... | 30 |
| 3.1.1 | Wagons ballastière Fdk..... | 30 |
| 3.1.2 | Locomotive HGem 2/2 N° 2501..... | 30 |
| 3.1.3 | Homologation de la locomotive HGem 2/2 N° 2501..... | 31 |
| 3.2 | Aspects organisationnels..... | 32 |
| 3.2.1 | Modifications apportées après l'homologation..... | 32 |
| 3.3 | Aspects d'exploitation..... | 33 |
| 3.3.1 | DE-PCT MOB – Prise en compte du poids-freins magnétiques..... | 33 |
| 3.3.2 | Essai de frein aux Avants..... | 33 |
| 3.4 | Evaluation des performances de freinage lors de l'arrêt au signal d'entrée de Sedy-Sollard..... | 33 |
| 3.4.1 | Influence de la compensation de l'effort au tampon..... | 33 |
| 3.5 | Aspects humains..... | 34 |
| 3.6 | Synthèse des conditions techniques pouvant conduire à un blocage de essieux des locomotives HGe lors d'un freinage à basse vitesse..... | 34 |
| 4 | Conclusions..... | 35 |
| 4.1 | Faits établis..... | 35 |
| 4.1.1 | Aspects techniques..... | 35 |
| 4.1.2 | Aspects opérationnels ou procéduraux..... | 36 |
| 4.1.3 | Aspects d'exploitation..... | 36 |
| 4.1.4 | Aspects humains..... | 36 |
| 4.2 | Cause..... | 36 |
| 5 | Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave..... | 38 |
| 5.1 | Recommandation de sécurité..... | 38 |
| 5.1.1 | DE-PCT MOB..... | 38 |
| 5.1.2 | Système de management intégré MOB..... | 39 |
| 5.1.3 | Homologation type de véhicules non-interopérable..... | 39 |
| 5.2 | Avis de sécurité..... | 39 |

5.3 Mesures prises depuis l'incident grave40

1 Résumé

1.1 Présentation succincte

Le 9 juin 2022, aux environs de 11h20 en gare des Avants, la locomotive HGem 2/2 N° 2501 devait manœuvrer deux ballastières chargées qui étaient stationnées sur la voie 111, sises en contrebas de la gare. Les deux ballastières devaient ensuite être refoulées en gare des Avants. Après avoir avancé sur la pleine voie en direction aval, le convoi a eu des problèmes d'adhérence lors du retour en gare.

Vu que le convoi ne parvenait pas à remonter en gare des Avants, le centre de gestion du trafic MOB a demandé au chef de manœuvre, afin de libérer la voie pour permettre la circulation d'un train voyageurs à destination de la gare des Avants, de descendre son convoi en gare de Chamby et d'effectuer le croisement avec le train voyageurs en gare de Sendy-Sollard. Le convoi a circulé en direction aval et s'est immobilisé devant le signal d'entrée de Sendy-Sollard qui présentait l'image « arrêt ». Après avoir reçu l'autorisation d'entrer en gare sur la voie 1 avec le signal à l'arrêt, le convoi s'est remis en marche. Lors du freinage final pour s'arrêter sur la voie 1, le convoi n'a pas pu s'immobiliser. Il est parti en dérive, a talonné l'aiguille de sortie aval de la gare de Sendy-Sollard, a dérivé sur la pleine voie avant de s'immobiliser environ 900 mètres plus loin.

1.2 Aperçu

Moyen transport Chemin de fer

Entreprises impliquées

Entreprise de transport Compagnie du Chemin de fer Montreux Oberland Bernois (MOB), Montreux

Gestionnaire de l'infrastructure Compagnie du Chemin de fer Montreux Oberland Bernois (MOB), Montreux

Autre RM Voie ferrée, Le Mont-sur-Lausanne

Véhicules impliqués Locomotive HGem 2/2 N° 2501, MOB
Wagons ballastière Fdk 901 et Fdk 904, MOB

1.3 Cause

La dérive du convoi depuis la voie 1 en gare de Sendy-Sollard sur une distance d'environ 900 mètres en pleine voie est due au fait que lors du freinage pour l'immobilisation en gare, les deux essieux de la locomotive HGem 2/2 N° 2501 se sont bloqués et ont provoqué une perte de l'adhérence de la locomotive. Le convoi était alors freiné uniquement par les deux wagons Fdk chargés, qui avaient un rapport de freinage unitaire (65 %) insuffisant pour la ligne à parcourir, ce qui réduisait par conséquent le rapport de freinage du convoi en dessous de la valeur 60 %, soit trop faible pour pouvoir immobiliser le convoi.

Ont contribué à la survenue de la dérive :

- L'activation par l'électronique de commande de la décharge du frein de la locomotive ; ce qui a inhibé le frein pneumatique de la locomotive durant la phase finale du freinage et sa réactivation, provoquant une remontée brusque de la pression aux cylindres de frein conduisant au blocage des essieux.
- L'anti-enrayage pneumatique inactif en dessous 5 km/h.
- Le non-fonctionnement des freins magnétiques jusqu'à l'arrêt.

A pu contribuer à la dérive :

La modification software de la compensation automatique de l'effort au tampon.

1.4 Recommandations de sécurité

Ce rapport contient trois recommandations de sécurité.

Glossaire

| | |
|---------------|---|
| DE-OCF | Dispositions d'exécution du 15 décembre 1983 de l'ordonnance sur les chemins de fer du 15 décembre 1983, Etat le 1 ^{er} novembre 2020 (RS 742.141.11) |
| DE-PCT MOB | Dispositions d'exécution - Prescriptions MOB, 01.07.2020 |
| Directive OFT | Directive OFT pour l'homologation des véhicules, version 2.3, janvier 2016 et 2.3c, novembre 2020 |
| FLG | Fahrzeugleitgerät, Calculateur de gestion de l'asservissement |
| LCdF | Loi fédérale sur les chemins de fer du 20 décembre 1957, Etat le 1 ^{er} janvier 2018 (RS 742.101) |
| OCF | Ordonnance du 23 novembre 1983 sur la construction et l'exploitation des chemins de fer (Ordonnance sur les chemins de fer) du 23 novembre 1983, Etat le 1 ^{er} novembre 2020 (RS 742.141.1) |
| OFT | Office fédérale des transports |
| PCT | Chemin de fer. Prescriptions suisses de circulation des trains PCT du 2 novembre 2015 (R 300.1-.15), Etat le 1 ^{er} juillet 2020 (RS 742.173.001) |
| TSI | Spécifications techniques d'interopérabilité |

2 Faits établis

2.1 Lieu de l'événement

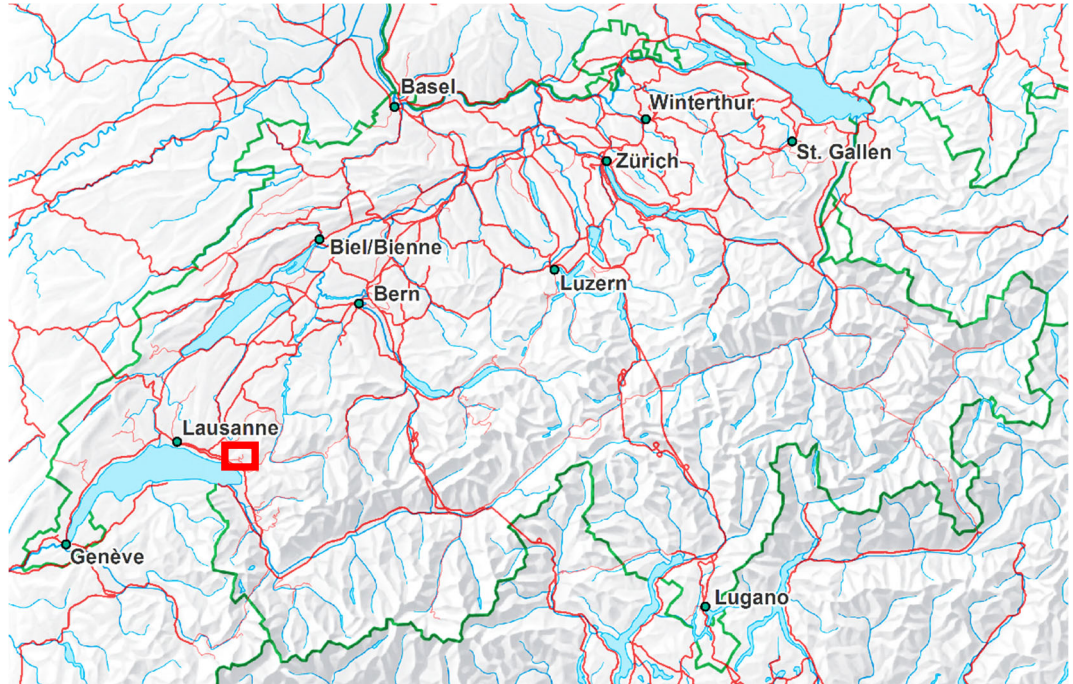


Illustration 1 : Carte synoptique du lieu de l'incident (Source de la carte : Office fédéral de topographie).

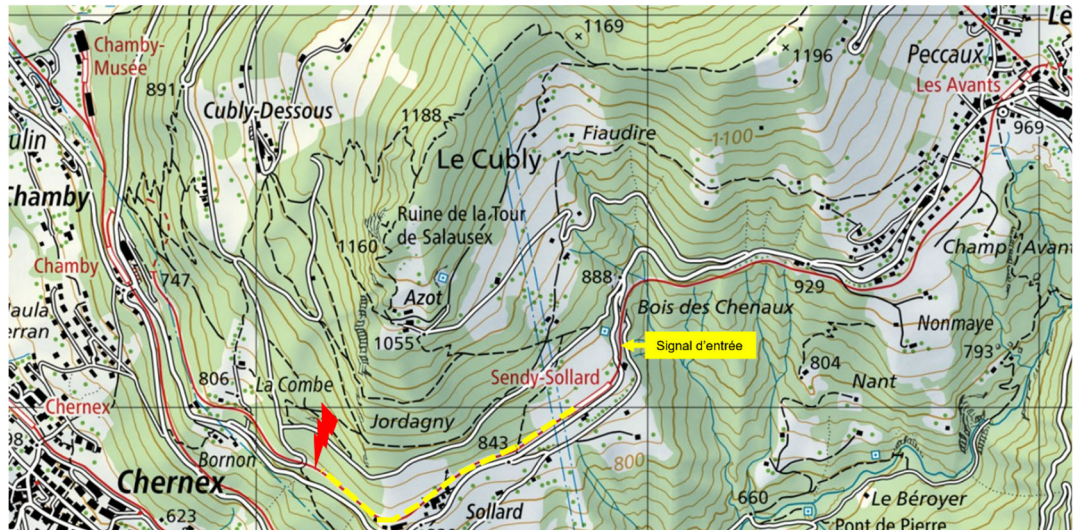


Illustration 2 : Carte de détail du lieu de l'incident. Ligne jaune : dérive du convoi depuis la gare de Sindy-Sollaard. Flèche rouge : endroit de l'immobilisation du convoi avant le passage à niveau de Jordagny (Source de la carte : Office fédéral de topographie).

2.2 Enquête

Le 9 juin 2022, vers 12h45, le bureau d'enquête du Service suisse d'enquête de sécurité (SESE) a été averti que la dérive d'un convoi s'était produite sur la pleine voie entre la gare de Sendy-Sollard et la gare de Chamby. Le chef de manœuvre a sauté de la locomotive et a été contusionné. Une enquête a été ouverte.

L'enquête se base sur les éléments et les documents suivants :

- Les constatations faites sur le lieu de l'évènement ;
- Photos ;
- Données de la circulation du train ;
- Manuel d'utilisation du véhicule ;
- Schémas électriques et pneumatiques ;
- Documents d'homologation ;
- Release notes software ;
- Essais dynamiques ;
- Plans des voies ;
- Auditions des personnes impliquées.

2.3 Généralité

Le tronçon de ligne des Avants à Chamby est en majorité en forte pente avec une déclivité moyenne de 68 ‰. La déclivité en gare des Avants est de 18 ‰, pour atteindre en aval de la gare au niveau de l'aiguille de sortie la déclivité moyenne de la ligne. La déclivité dans la gare de Sendy-Sollard est 27 ‰ puis la déclivité s'accroît à nouveau en direction de l'aiguille de sortie aval pour atteindre la déclivité moyenne. Les gares des Avants et de Sendy-Sollard sont distantes d'environ 1600 m.

Aux Avants, la voie 111 est située en contrebas de la gare (illustration 3). Afin d'y accéder, les mouvements de manœuvre doivent s'engager en aval de l'aiguille située devant le signal d'entrée aval des Avants.

2.4 Situation avant l'évènement

Deux wagons type Fdk, chargés de ballast pesant chacun 21 tonnes, étaient garés sur la voie 111. La locomotive a manœuvré à 11h22 depuis son emplacement en gare jusque sur la voie 111 où les 2 wagons devaient être attelés (illustration 3). A cet instant la locomotive circulait en mode « diesel ».



Illustration 3 : Situation en gare des Avants. Rectangle rouge : locomotive HGem 2/2 N° 2501, rectangles jaunes : ballastières stationnées sur voie 111 (Source de la carte : Office fédéral de topographie).



Illustration 4 : Composition après l'incident. Locomotive 2501 et les 2 wagons Fdk en gare de Chamby.

2.5 Déroulement de l'événement

Le convoi a circulé depuis la voie 111 en direction aval jusqu'après l'aiguille d'entrée avec comme but le retour en direction de la gare des Avants (illustration 5).



Illustration 5 : Situation en gare des Avants, convoi immobilisé en pleine voie avant le retour prévu (traitillé jaune) en gare (Source de la carte : Office fédéral de topographie).

Une fois immobilisé et l'aiguille en position droite, le mécanicien a inversé le sens de marche et appliqué un effort de traction pour refouler son convoi en direction amont (illustration 5). La locomotive a commencé à patiner. Après plusieurs essais, le mécanicien a commuté la locomotive du régime « diesel » au régime « électrique ». Malgré la commutation de régime, lorsqu'un effort de traction était appliqué, la locomotive patinait toujours. Le convoi n'arrivait pas à remonter en gare des Avants.

Au vu de la situation de l'exploitation, afin de libérer la voie pour un train voyageurs qui circulait entre Chamby et Les Avants, le Chef de manœuvre a reçu l'ordre du Chef-circulation de descendre son convoi en gare de Chamby en effectuant le croisement avec le train voyageurs en gare de Sendy-Sollard.

Le convoi étant immobilisé en pleine voie, l'établissement d'un itinéraire de train entre Les Avants et Sendy-Sollard n'était techniquement pas possible. Le convoi devait circuler jusqu'à la gare de Sendy-Sollard comme « mouvement de manœuvre en pleine voie » et à partir de là, poursuivre ensuite sa marche « en mode train » jusqu'à Chamby.

Une fois l'assentiment obtenu, le Chef de manœuvre, qui était en cabine avec le mécanicien, a transmis l'ordre au mécanicien de circuler en direction aval. Le signal d'entrée de Sendy-Sollard présentait l'image « arrêt ». Le mécanicien a immobilisé son convoi devant le signal. Entre temps, le train voyageurs était entré sur la voie 2 en gare de Sendy-Sollard. Une fois l'autorisation d'entrer en gare obtenue, le mécanicien a remis son convoi en mouvement. Le convoi a accéléré jusqu'à la vitesse de 14 km/h, puis a ralenti jusqu'à environ 5 km/h pour entrer en

gare sur la voie 1. Alors que le Chef de manœuvre observait la queue du convoi pour s'assurer que le convoi ait libéré l'aiguille amont, le mécanicien a renforcé le freinage pour procéder à l'immobilisation de son convoi sur la voie 1. Il a constaté que l'effort de freinage escompté ne pouvait être obtenu. Les roues de la locomotive étaient bloquées, mais le mécanicien n'en avait pas connaissance. Son convoi ne s'immobilisait pas. Il a informé le Chef de manœuvre qu'il avait un problème de frein, puis a déclenché le freinage d'urgence. Peu après, il a encore pressé sur le bouton poussoir rouge d'urgence. Son convoi partait en dérive en direction de Chamby. Le Chef de manœuvre a sauté hors de la locomotive. Le convoi a talonné l'aiguille de sortie aval. Durant la dérive, qui a duré plus de deux minutes, le mécanicien a effectué plusieurs manipulations afin d'essayer d'immobiliser son convoi.

Tout à coup, lorsque le mécanicien a manipulé l'inverseur de marche, il a entendu que des vannes pneumatiques commutaient. Quelques instants plus tard, le convoi s'est immobilisé peu avant le passage à niveau de Jordagny au point kilométrique 8.230, environ 900 mètres après la gare de Sendy-Sollard.

2.6 Dommages

2.6.1 Personne

Le Chef de manœuvre a été contusionné.

2.6.2 Infrastructure

L'aiguille de sortie du côté aval de la gare Sendy-Sollard a été talonnée.

2.6.3 Véhicules

2.6.3.1 Locomotive HGem 2/2 N° 2501

Les roues de la locomotive présentaient d'importants plats et un fort endommagement des quatre tables de roulement.

2.6.3.2 Wagons Fdk

Les deux wagons Fdk 901 et 904 ne présentaient aucun dommage.

2.7 Personnes impliquées et concernées

2.7.1 Personnel ferroviaire

2.7.2 Mécanicien

| | |
|--|--|
| Personne | Mécanicien, année 1973, RM Voie ferrée |
| Permis OFT | B80 |
| Attestation pour circulation sur le réseau MOB | Valable |

2.7.3 Chef de manœuvre

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| Personne | Chef de manœuvre, année 1961, MOB |
| Autorisation OFT | Catégorie, Bi |

2.8 Entreprises impliquées et concernées

2.8.1 Gestionnaire de l'infrastructure

Compagnie du Chemin de fer Montreux Oberland Bernois (MOB), Montreux

2.8.2 Entreprise de transport

Compagnie du Chemin de fer Montreux Oberland Bernois (MOB), Montreux

2.8.3 Propriétaire du véhicule

Compagnie du Chemin de fer Montreux Oberland Bernois (MOB), Montreux

2.8.4 Autre

RM Voie ferrée, employeur du mécanicien, Le Mont-sur-Lausanne

2.9 Infrastructure

2.9.1 Installations ferroviaires

2.9.2 Constatations

Environ 4 heures après l'incident, le SESE a procédé à un contrôle de l'état de la voie sur le secteur compris entre le signal d'entrée amont de la gare et l'aiguille de sortie aval de la gare de Sendy-Sollard.

2.9.2.1 Pleine voie, zone située peu avant le signal d'entrée amont de Sendy-Sollard

Les rails étaient exempts de graisse dans la zone de contact entre le champignon du rail et la table de roulement des roues des véhicules. Quelques légères traces de glissement fraîches sont visibles dans la zone de contact rail-roue en amont du signal d'entrée. Quelques traces d'usure normale consécutives à divers patinages de roues sont visibles par endroit sur le champignon du rail.

2.9.2.2 Voie 1 en gare de Sendy-Sollard

La voie 1 n'est parcourue qu'occasionnellement par des véhicules. Les rails étaient exempts de graisse dans la zone de contact entre le champignon du rail et la table de roulement des roues des véhicules.

Sur les bords des champignons du rail, dans la zone de contact rail-roue, des traces de glissement sont visibles alternativement tant sur le rail de la file de gauche que sur celui de droite, ceci depuis le milieu de la gare jusqu'au niveau de l'aiguille de sortie aval.

Aucune trace de frottement de sabots magnétiques n'était visible sur la partie centrale des champignons des rails.

2.10 Véhicules

2.10.1 Locomotive

2.10.1.1 Descriptif

La locomotive HGem 2/2 N° 2501 a été mise en service en 2016 et fait partie d'une famille de 9 véhicules similaires sur d'autres réseaux. Elle possède en plus du frein électrique un frein pneumatique avec conduite générale à 5 bars et un frein à vide.

Le frein à vide n'est pas équipé d'un système de compensation de la différence d'altitude permettant de maintenir une valeur constante de 52 cm Hg.

Le frein d'immobilisation est à ressort. Des freins magnétiques complètent l'équipement. La locomotive peut circuler sur les réseaux à adhérence et à crémaillère.

La puissance maximale disponible en mode diesel est limitée à 400 kW et en mode électrique à 700 kW. L'effort maximal disponible est de 70 kN jusqu'à 35 km/h, puis il se réduit pour atteindre un effort de 40 kN à 60 km/h.

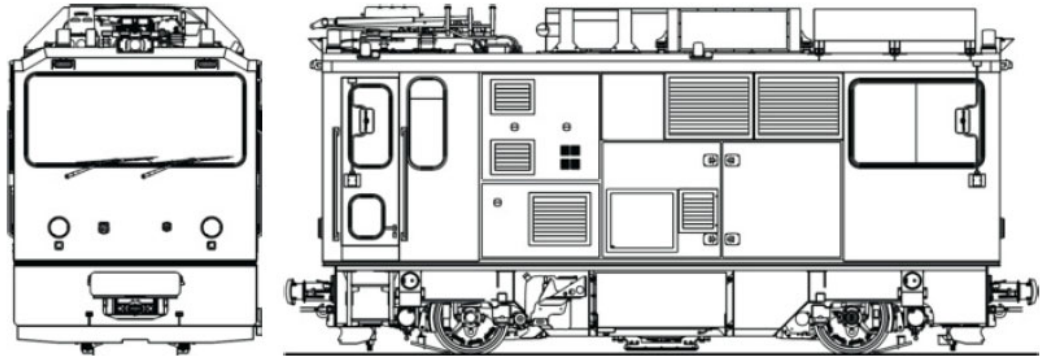


Illustration 6 : Dessin type de la locomotive.

Les données techniques inscrites sur le véhicule 2501 sont les suivantes :

| | |
|--------------------------|----------------|
| Tare : | 29.4 t |
| Poids-frein : | 34.1 t (116 %) |
| Frein d'immobilisation : | 11.6 t |

2.10.1.2 Homologation et modifications logicielle subséquentes

Avec l'autorisation d'exploiter OFT CH5120190405 délivrée le 11 novembre 2019, 1.2020 (validité jusqu'au 30.11.22) le logiciel de la commande FLG portait la version 1.1.3. Ce logiciel devait encore être adapté suite à une charge (N° 6.1), mentionnée dans l'autorisation d'exploiter soit une modification de la carte désignée « SABO » en lien avec l'enregistreur Teloc.

Le 1^{er} décembre 2020, les modifications software importantes suivantes ont été implémentées par le propriétaire du véhicule avec la version logicielle 1.2.0.1 du 1^{er} décembre 2020 :

Optimisation de l'anti-patinage, du frein de compensation EP, de la décharge de la locomotive, de la compensation automatique, ainsi que de la temporisation de surveillance d'entrée en crémaillère.

Avec la modification du logiciel en date du 14.09.2021, version 1.2.02, la pression maximale dans les cylindres de frein a été augmentée à 6 bars au lieu de 3.8 bars. Cette augmentation à 6 bars n'intervient que lorsque le véhicule est à l'arrêt.

Ces modifications n'ont pas fait l'objet d'annonce à l'OFT. La liste détaillée des modifications figure dans la « release note » en annexes 1 et 2.

Le 17 novembre 2021, le propriétaire du véhicule annonce par courriel à l'OFT que la modification du software concernant la charge (N°6.1) a été réalisée et que le software FLG implémenté porte désormais la version 1.2.0.2.

2.10.1.3 Description simplifiée de la commande du système de freinage

Le mécanicien dispose de deux leviers pour asservir la commande des freins, à savoir :

- Le levier de traction-freinage qui provoque par l'intermédiaire du convertisseur un effort de freinage électrique. Le convertisseur dispose de sa propre fonction d'anti-enrayage. A basse vitesse, l'effort de freinage électrique n'étant plus suffisant, le mécanicien doit utiliser le freinage pneumatique pour l'immobilisation finale.
- Le robinet de mécanicien à commande électrique permet de commander, par l'intermédiaire d'une vanne proportionnelle, le freinage pneumatique de la locomotive, ainsi que simultanément le freinage de la charge remorquée par la conduite générale à air comprimé ou par la conduite du frein à vide (illustration 7). Si le frein à vide doit être activé, la pompe à vide doit être enclenchée au préalable par un bouton-poussoir. La pompe fonctionne toujours en première vitesse. La deuxième vitesse, remplissage de la composition, peut être enclenchée soit à l'aide d'un bouton-poussoir ou par le maintien en butée (position lâchée) du robinet de mécanicien.

Le freinage d'urgence peut être déclenché soit par le levier traction-freinage, soit par le robinet mécanicien ou par l'activation du bouton rouge d'urgence. En sus, un robinet placé sous le pupitre permet également de vidanger la conduite générale.

Un interrupteur de commande séparé, installé dans chaque cabine, permet d'activer manuellement les sabots magnétiques, ceci indépendamment de tout autre critère.

2.10.1.4 Description synthétisée du système de frein de la locomotive²

2.10.1.4.1 Frein direct

Le frein direct régule, par l'intermédiaire de la vanne proportionnelle, la montée en pression des cylindres de frein. La pression maximale dans les cylindres est de 3.8 bars. Cette vanne régule également le freinage de la charge remorquée par l'intermédiaire de la conduite du frein à air ou du frein à vide.

2.10.1.4.2 Décharge du train

Lorsque le frein direct de la locomotive est activé et que l'on ne souhaite pas freiner les véhicules remorqués, une touche, installée sur le pupitre, permet d'activer par l'intermédiaire de l'électronique de commande, la fonction « décharge du train ».

Lors d'un freinage d'urgence, cette décharge est automatiquement désactivée lorsque le frein électrique n'est plus actif et à partir d'une valeur prédéfinie de la pression de commande. La décharge peut être désactivée par le mécanicien par une nouvelle pression sur la touche.

2.10.1.4.3 Décharge de la locomotive

Lorsque l'effort de freinage électrique est suffisant, un signal est transmis à l'électronique de commande qui pilote la vanne « décharge loc » des freins de la locomotive (illustration 7), ce qui provoque la vidange directe de l'air contenu dans les cylindres de freins de la locomotive. Lorsque le signal « décharge loc » disparaît, la vanne se referme. En fonction de la valeur de la pression de commande qui était

² Extraits synthétisés des documents : Bremskonzept BZ-2062023, version A du 15.06.2016 et spécification du logiciel 521088 – 20160725.

établie avant la décharge, une montée abrupte de la pression dans les cylindres pouvant atteindre la valeur de 3.8 bars peut se produire.

Cette décharge est automatiquement désactivée lors d'un freinage d'urgence, lorsque le frein électrique n'est plus actif et à partir d'une valeur prédéfinie de la pression de commande.

2.10.1.4.4 Frein d'immobilisation à ressort

La locomotive est équipée d'un frein à ressort agissant sur les cylindres du frein à adhésion (illustration 7). Le frein à ressort est activé automatiquement après 5 secondes si l'inverseur se trouve en position 0. Lorsque l'inverseur est remis en position avant ou arrière, le frein se desserre automatiquement. Lorsque le frein d'urgence a été activé et que la vitesse est nulle, le frein à ressort est également activé après 5 secondes.

2.10.1.4.5 Freins magnétiques

Les sabots magnétiques sont activés lorsqu'un freinage d'urgence est déclenché. Toutefois, lorsque le frein d'urgence est déclenché à une vitesse inférieure à 5 km/h, les sabots magnétiques n'entrent pas en fonction.

Les sabots magnétiques ne restent pas actifs jusqu'à l'arrêt. Ils se désactivent dès que la vitesse est inférieure à 1.5 km/h.

2.10.1.4.6 Compensation de l'effort au tampon

Lorsqu'un effort de freinage est demandé par l'intermédiaire du levier de traction-freinage, l'électronique de commande du véhicule abaisse proportionnellement la pression de la conduite générale, respectivement de la conduite du frein à vide, ce qui active le freinage des véhicules remorqués.

Cette fonction est implémentée pour répondre à deux cas de figures :

- pour limiter l'effort sur le tampon central lorsqu'un freinage électrique important est demandé. Au vu de l'effort généré par la poussée de la charge remorquée, il existe un risque latent que le véhicule moteur soit poussé latéralement hors des rails par la charge remorquée.
- pour éviter que tout l'effort de freinage soit assuré uniquement par le freinage électrique des essieux du véhicule moteur. Lorsque la locomotive est seule à freiner, il existe un risque latent que celle-ci tende à glisser sous certaines conditions (charge remorquée autorisée de 150 t sur les pentes de 70 ‰ par rapport au poids adhérent de la locomotive 29.4 t).

2.10.1.4.7 Anti-enrayage pneumatique

La locomotive est équipée d'un système anti-enrayage pneumatique géré par un automate programmable. Chaque essieu est équipé, pour la saisie de la vitesse, d'un capteur. Lorsque les essieux glissent, les cylindres de frein sont mis à l'air libre par l'intermédiaire de deux électrovannes, ce qui permet à l'essieu, par la réduction de la pression dans les cylindres, de retrouver sa vitesse de rotation. En dessous de 5 km/h le système d'anti-enrayage n'est plus actif.

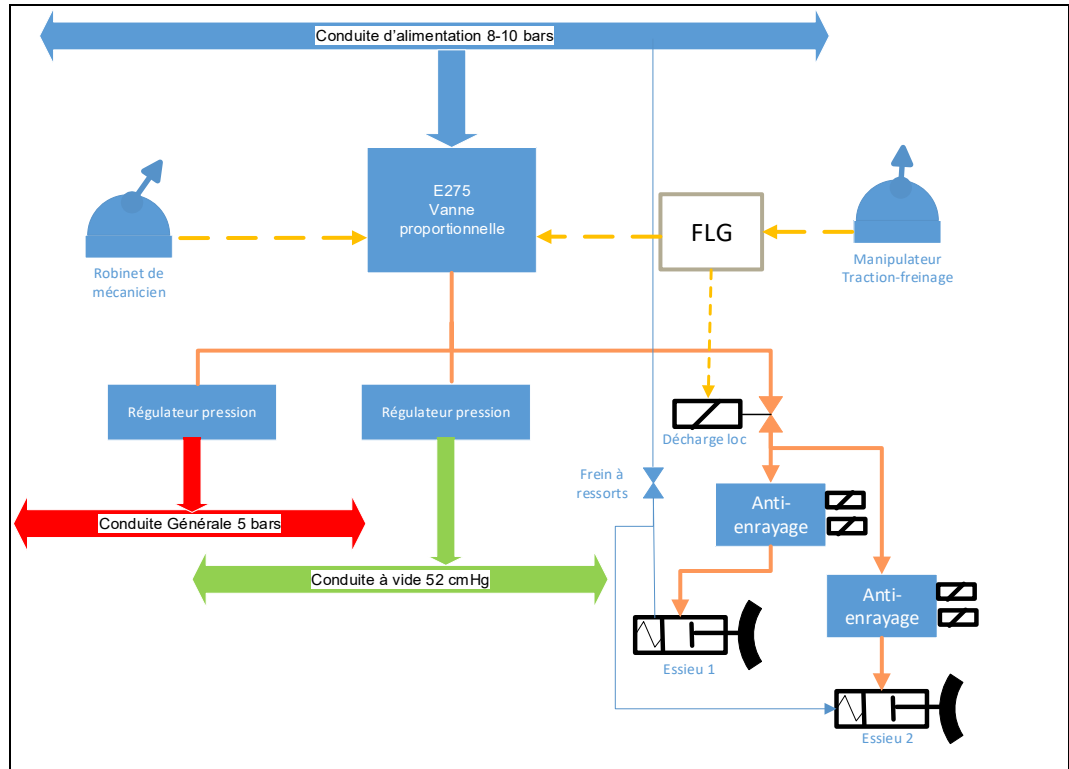


Illustration 7 : Schéma de principe des systèmes de frein de la locomotive.

2.10.2 Wagons ballastière

Les wagons ballastière de type Fdk datent des années 1970. Ils sont équipés du frein à vide et d'un frein d'immobilisation à main. La tare est de 7.8 t et la charge maximale admissible est de 15 t. Un levier d'inversion du poids-frein permet d'amplifier le poids frein en fonction de la charge utile d'une valeur de 6 t. La valeur maximale de poids-frein est de 13.8 t (tare 7.8 t + 6 t poids-frein d'inversion), ce qui représente un rapport de freinage maximal dans la configuration de l'incident de 65 % (masse de 21 t par rapport au poids freins de 13.8 t).

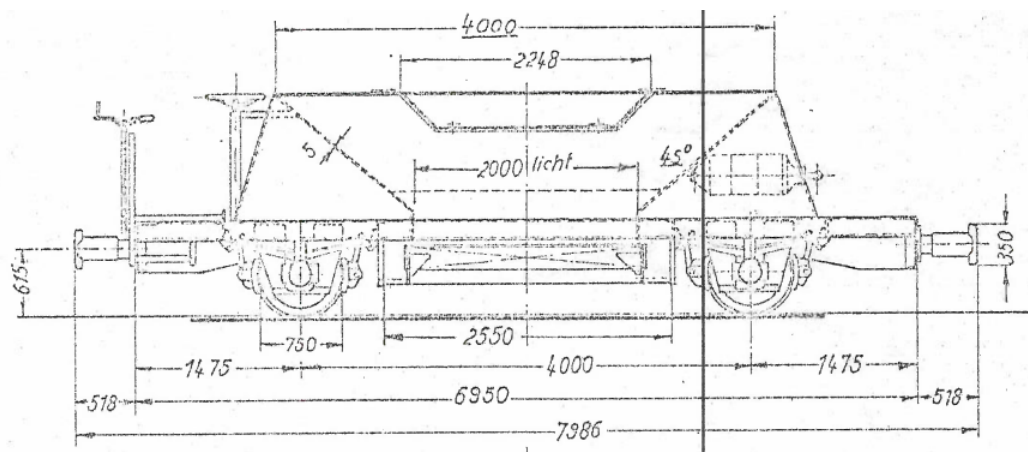


Illustration 8 : Croquis type du wagon ballastière.

2.10.2.1 Pesage des wagons

Les deux wagons ont été pesés le lendemain de l'incident dans les ateliers MOB de Chernex.

Le wagon n° 901 avait une masse totale de 20'845 kg.

Le wagon n° 904 avait une masse totale de 21'312 kg.

2.10.2.2 Efforts aux sabots et état des sabots

Les efforts aux sabots ont été vérifiés le lendemain de l'incident dans les ateliers MOB de Chernex.

Selon les données techniques des wagons, la force d'appui par sabot sur la position « chargé » est de : 13.5 kN.

Les données suivantes ont été relevées. L'essai a été effectué en atelier avec une référence de vide de 52 cm Hg.

Valeur d'effort par sabot sur le Fdk 901 : comprise entre 12.7 et 13.1 kN.

Valeur d'effort par sabot sur le Fdk 904 : comprise entre 12.4 et 13.8 kN.

Tous les sabots de frein étaient en bon état. Chacun appuyait sur toute la surface de la table de roulement.

2.10.2.3 Temps de remplissage et valeur du frein à vide

Le temps de remplissage pour l'établissement de la référence du vide a été mesuré lors des essais du 29 juin 2022 à Chamby (altitude 750 m).

Le vide maximum de 50 cm Hg a pu être atteint après 60 secondes de remplissage. A cause de l'altitude, la valeur nominale de 52 cm Hg n'a pas pu être atteinte.

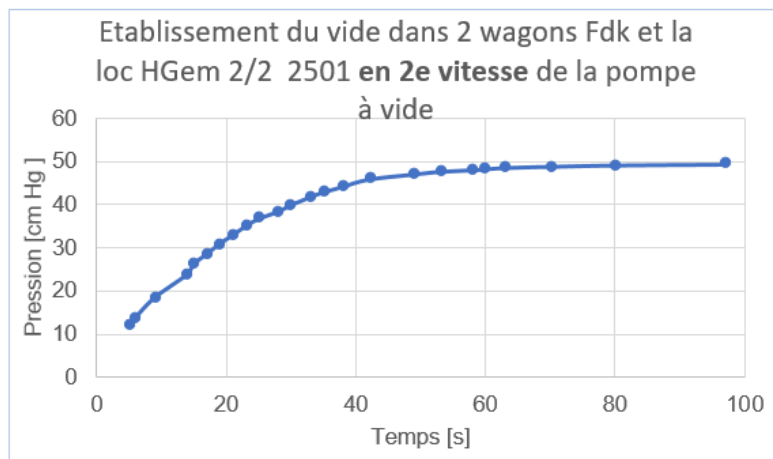


Illustration 9 : Relevé du temps de remplissage et des valeurs du frein à vide.

2.11 Evaluation de l'enregistrement des données

2.11.1 Tachygraphe

L'analyse des données de parcours de la locomotive démontre les éléments suivants :

2.11.1.1 Mouvement entre Les Avants voie 111 et le signal d'entrée de Sendy-Sollard

Dès l'attelage de la locomotive avec les deux ballastières sur la voie 111 (11h22), puis lors de la descente sur la peine voie (11h25) depuis cette voie, puis lors des diverses tentatives pour essayer de remonter en gare (11h26–11h40), ainsi que sur le tronçon séparant Les Avants de Sendy-Sollard (11h45–11h51, l'arrêt au signal d'entrée), la pompe à vide a fonctionné pour assurer le remplissage de la référence du vide des deux ballastières.

2.11.1.2 Freinage pour l'arrêt devant le signal d'entrée de Sendy-Sollard

La vitesse du convoi était de 15 km/h, régulée par la consigne de vitesse. Un effort de freinage supplémentaire a été sollicité par le mécanicien. La vitesse diminue progressivement. L'anti-enrayage est entré en action à la vitesse d'environ 11 km/h. Le signal « décharge loc » est présent et disparaît à environ 6 km/h. Un glissement des essieux réapparaît et l'anti-enrayage entre à nouveau en action puis le convoi décélère jusqu'à l'arrêt (illustration 10).

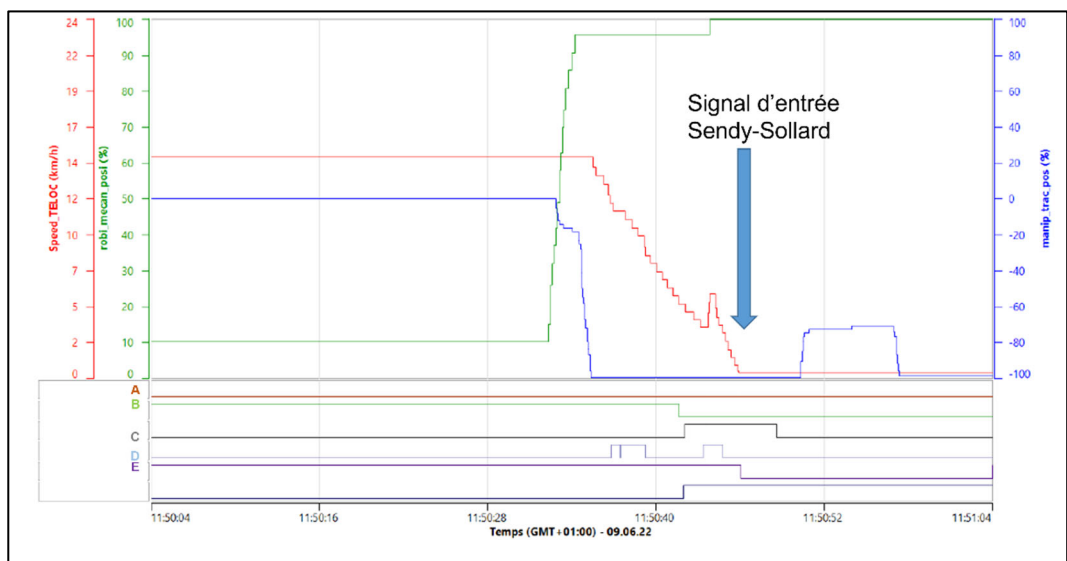


Illustration 10 : Détail du freinage pour l'immobilisation devant le signal d'entrée de Sendy-Sollard.

Légende des signaux digitaux:

- A : Décharge train
- B : Décharge loc
- C : Frein urgence
- D : Antiglissement
- E : Frein électrique

2.11.1.3 Freinage en gare de Sendy-Sollard

Après être reparti depuis le signal d'entrée de Sendy-Sollard, le convoi a accéléré jusqu'à la vitesse de 15 km/h, soit la consigne de vitesse sélectionnée (illustration 12). Le signal « décharge loc » s'active à 15 km/h. Le mécanicien a renforcé le freinage pneumatique. La vitesse du convoi s'est réduite linéairement jusqu'à environ 6 km/h. Le signal « décharge loc » disparaît. La vitesse tombe brusquement à 0 puis le serrage d'urgence est déclenché (illustration 12).

Durant la dérive qui a duré environ 2 minutes 30, le mécanicien a effectué plusieurs manipulations afin d'essayer d'immobiliser son convoi. La remise à 0 puis en position arrière de l'inverseur de marche a provoqué le réarmement du serrage d'urgence et le desserrage du frein à ressort. Les essieux se sont remis à tourner. La vitesse du convoi à cet instant était de 18 km/h. Le convoi a parcouru environ 900 m avec les roues bloquées. L'anti-enrayage est à nouveau actif et le convoi s'immobilise (illustration 11).

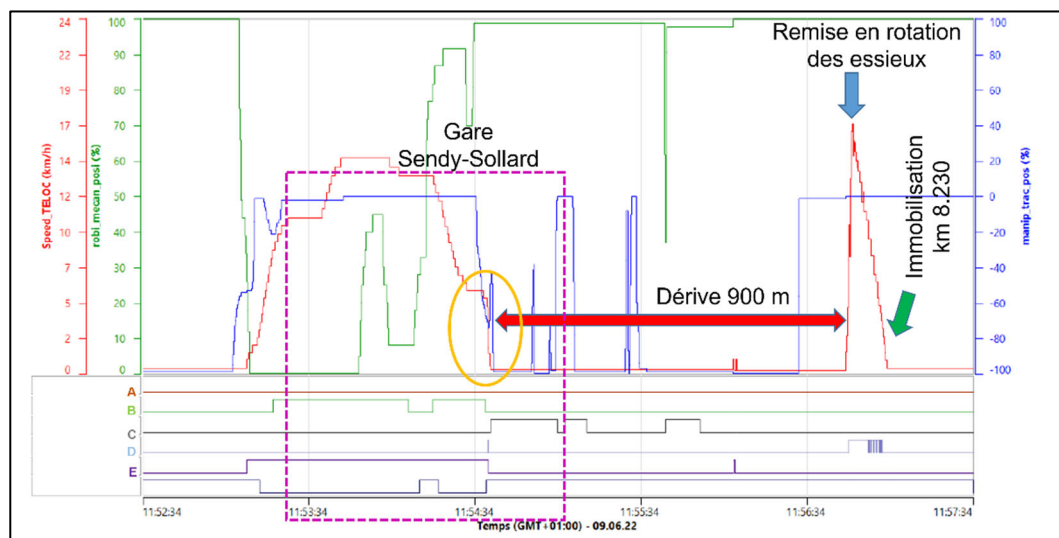


Illustration 11 : Freinage en gare de Sendy-Sollard et dérive.

Légende des signaux numériques :

- A : Décharge train
- B : Décharge loc
- C : Frein urgence
- D : Antiglissement
- E : Frein électrique

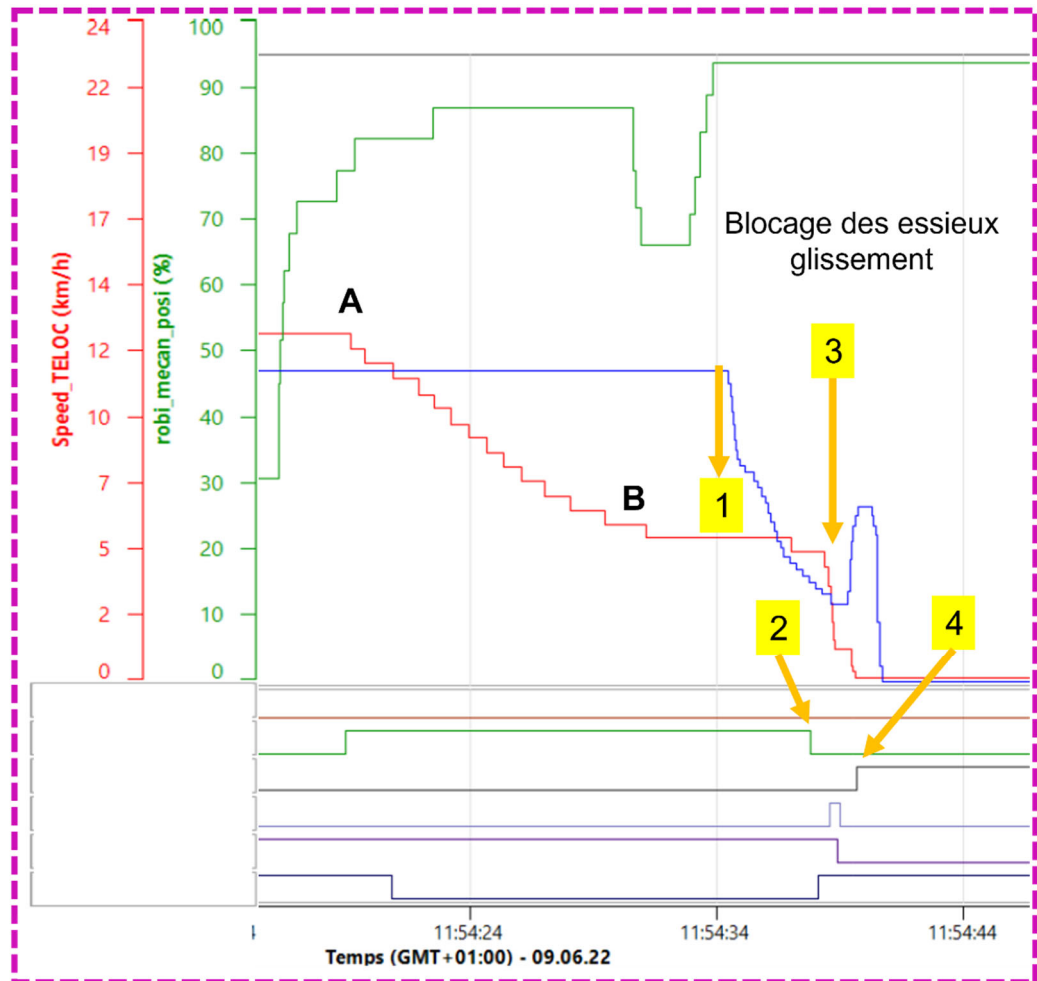


Illustration 12 : Détail du graphique de l'illustration 11, freinage en gare de Sendy-Sollard.

Légende de l'illustration 12 :

- 1 : Augmentation de l'effort de freinage par le manipulateur de traction/freinage.
 - 2 : Disparition du signal « décharge loc » = la pression se rétablit brusquement dans les cylindres de frein.
 - 3 : Blocage des essieux et glissement. La vitesse (courbe rouge) tombe brusquement de 5 km/h à 0.
 - 4 : Déclenchement du serrage d'urgence. La vitesse étant nulle, les sabots magnétiques n'entrent pas en action.
- A-B : Décélération du convoi avant la dérive.

2.12 Examens particuliers

2.12.1 Météo, visibilité, état des rails

Jour, temps couvert, quelques précipitations la veille et le jour même.

2.12.2 Facteurs ayant influencé le comportement humain

Le récit du déroulement des événements relatés par le mécanicien au SESE l'après-midi de l'incident ainsi que les actions qu'il a entreprises peu avant l'événement et lors de la dérive concordent parfaitement avec les constatations faites par le SESE lors de l'analyse des données de parcours de la locomotive.

Il avait toute conscience de ce qui s'était passé et de l'enchaînement chronologique des événements.

2.12.3 Système de management intégré

Le système de management intégré (SMI³) du MOB, partie processus de la maintenance du matériel roulant, version 2022, a fait l'objet de contrôle par le SESE.

La procédure spécifique au présent incident, soit la procédure d'amélioration de la flotte et des moyens de maintenance a été analysée. Cette procédure décrit d'une manière générale les différentes étapes de la proposition à la validation, puis jusqu'à l'exécution d'un projet.

Une procédure désignée « libérer les véhicules » (après maintenance, réparation ou modification) décrit les différentes étapes de contrôles et de tests jusqu'à la remise en service du véhicule.

Cette procédure ne détaille pas la classification des modifications ainsi que la responsabilité de la soumission, des modifications en fonction des critères tels que définis (annexes 3–4, illustrations 15–16) par la directive OFT pour l'homologation des véhicules, à l'autorité de surveillance.

2.12.4 Calcul de freinage

2.12.5 Rapport d'expert pour l'homologation

Un rapport d'expert avait été établi en 2016 pour l'homologation du premier véhicule de la série de locomotives. Ce rapport avait été établi par un collaborateur du constructeur du véhicule. Ce collaborateur n'avait pas participé à la conception du véhicule. Le rapport d'expert doit vérifier si les exigences concernant les freins des véhicules non-interopérables définies par l'article 52 des DE-OCF sont remplies. Il fait partie intégrante des documents remis à l'OFT pour l'obtention de l'homologation.

2.12.5.1 Freins de sécurité (freins magnétiques)

Les DE-OCF article 52, chiffre 9.1.1 mentionnent que les freins de sécurité (freins magnétiques) doivent restés actifs jusqu'à l'arrêt.

Le rapport mentionne qu'ils sont asservis par le critère de vitesse nulle, c.à.d. que lorsque les essieux sont bloqués, les freins magnétiques n'entrent pas en action.

Pour la valeur du poids frein de sécurité (freins magnétiques), les DE-OCF article 52, chiffre 9.3.2 mentionnent ce qui suit :

Le poids-frein du frein de sécurité doit être déterminé par des essais selon DE 52.2, la vitesse initiale devant être identique à la vitesse de marche sur les tronçons pour lesquels le frein de sécurité est prescrit.

Le poids-frein des sabots magnétiques devait être déterminé sur la base d'essais dynamiques. Sa valeur est exprimée en tonnes. La valeur de 11.6 kN tirée du calcul de freinage a été convertie en tonnes de poids-frein et inscrite comme poids-frein magnétique sur le véhicule. L'expertise mentionne que cet essai a été réalisé, alors qu'en réalité aucun essai dynamique n'a été effectué.

L'expert conclut en fin de rapport que le véhicule remplit les exigences fixées par les DE-OCF.

³ SMI : Système de management intégré, appelé aussi système de gestion de la sécurité

2.13 Essais dynamiques

Le 28 juin 2022, des essais ont été effectués en gare de Montreux, par le SESE en présence du fournisseur et du propriétaire avec la locomotive impliquée dans la dérive.

Les éléments suivants ont été vérifiés :

- a) Les freins à ressort entrent en action 3 secondes après la mise à 0 de l'inverseur.
- b) Lors d'un freinage d'urgence, le frein à ressort est automatiquement activé 30 secondes après l'immobilisation du véhicule.
- c) Même lorsque le manipulateur traction/freinage est en position médiane, la locomotive peut exercer un effort de freinage électrique, si la vitesse de consigne venait à être dépassée. En freinage d'urgence, la consigne de vitesse est forcée à 0 km/h.
- d) En dessous de 5 km/h, l'anti-enrayage pneumatique est inactif.
- e) Lorsqu'un freinage d'urgence est déclenché alors que la vitesse est inférieure à 5 km/h, les freins magnétiques n'entrent pas en action.
- f) Une fois le véhicule immobilisé, la pression des cylindres de frein augmente de 3.8 bars pour atteindre 6 bars.

Le 29 juin 2022, divers essais dans la configuration de la dérive ont été effectués entre Chamby et Blonay (pente de 50 ‰) et 2 ballastières chargées (Fdk 903 et 904).

Durant ces essais, le comportement de la locomotive lors de divers freinages avec une charge remorquée a été observé, ceci afin de vérifier l'enchaînement des événements ayant conduit à la dérive tels que constatés lors de l'analyse des données de parcours (chiffre 2.11).

L'essai représenté dans le graphique de l'illustration 13 a été réalisé pour démontrer l'effet de la fonction « décharge loc » sur le glissement des essieux de la locomotive lors de du rétablissement de la pression dans les cylindres de frein. Pour ce faire, lors de l'essai la fonction a été activée manuellement par pression sur la touche dédiée alors que lors de l'incident, le signal a été activé de manière imprévisible par l'électronique de commande du véhicule.

Le graphique démontre les éléments suivants :

Lorsqu'un effort de freinage électrique est demandé, la vitesse diminue (flèche bleue). Aussitôt que le signal « décharge loc » (ligne horizontale verte) disparaît (illustration 12), la pression dans les cylindres de frein (flèche jaune) augmente abruptement (< 1 sec) jusqu'à 3.8 bars ; ceci provoque le glissement de l'essieu 2 (flèche rouge) remis précédemment en rotation par le fonctionnement de l'anti-enrayeur (vitesse supérieure à 5 km/h). La pression de la conduite du frein à vide reste à 52 cm Hg.

Ensuite, le freinage d'urgence a été déclenché, ce qui provoque la vidange de la conduite du frein à vide et l'entrée en action des sabots magnétiques (flèche orange) car la vitesse était supérieure à 5 km/h.

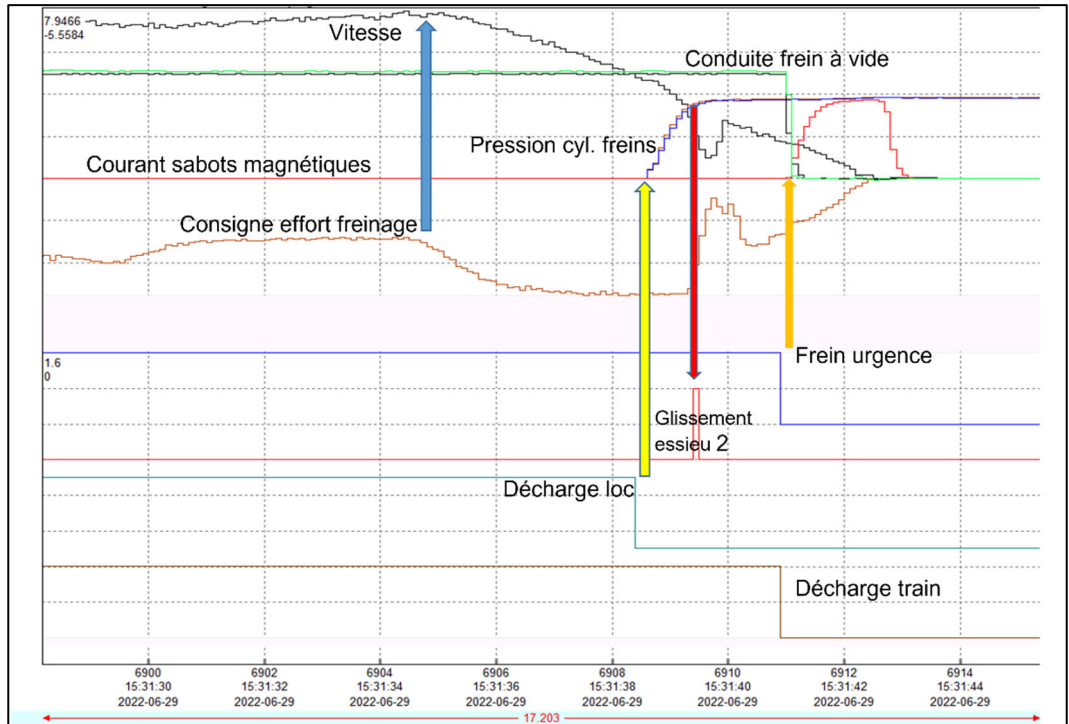


Illustration 13 : Enregistrement graphique d'un essai analysé par le SESE.

2.14 Règlementation

2.14.1 Règlementation PCT

En relation avec le présent incident, les prescriptions suisses de circulation des trains mentionnent ce qui suit :

R 300.4 Mouvements de manœuvre

1.8 Frein à air

1.8.1 Utilisation du frein à air⁴

Les courses de manœuvre doivent pouvoir être freinées au moyen du frein à air. Sur les déclivités jusqu'à 10 ‰, la moitié des véhicules doit être freinée au moyen du frein à air. Sur les déclivités de plus de 10 ‰, la totalité des véhicules de la course de manœuvre doit être freinée au moyen du frein à air.

1.8.2 Essai du frein

Si le poids de la charge remorquée est supérieur à 5x le poids du véhicule moteur, il faut effectuer un essai de frein au dernier véhicule freiné à l'air.

4 Dispositions complémentaires pour les mouvements de manœuvre en pleine voie

4.2.2 Prescriptions de freinage pour les mouvements de manœuvre en pleine voie

Les prescriptions pour l'essai du frein et de freinage sont identiques à celles valables pour les trains.

R 300.5 Préparation des trains

4.3 Essai du frein

Un essai du frein doit être exécuté à la gare de formation avant le départ, en cas de modification de la composition, suite à un changement de direction ou après la mise en service d'un train qui était garé. Cet essai du frein doit être effectué depuis la même cabine de conduite d'où le frein sera desservi en cours de route.

L'essai du frein consiste à s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de freinage, dont les poids-frein seront pris en compte lors du calcul de la catégorie de freinage et du rapport de freinage partiel.

4.3.1 Exécution de l'essai du frein

Avant le début de l'essai du frein

- les appareils de freins doivent être prêts à fonctionner*
- le frein à air doit être lâché. Cela doit être vérifié sur un véhicule quelconque*
- les freins d'immobilisation doivent être lâchés. Font exception les freins d'immobilisation qui sont nécessaires pour assurer les véhicules contre la dérive.*

⁴ Par analogie, valable également pour le frein à vide

2.14.2 Règlementation DE-OCF

Les dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer (DE-OCF) mentionnent ce qui suit concernant les freins magnétiques des véhicules non opérables :

DE-OCF Article 52.1, véhicules non opérables, freins

Chiffre 9.1

Les freins électromagnétiques sur rail, les freins sur voie par courant de Foucault, les freins à crémaillère, etc. sont considérés comme des freins de sécurité indépendants de l'adhérence entre le rail et la roue.

Chiffre 9.1.1

L'alimentation en courant des freins activés électriquement doit, en cas de manque de la tension de la ligne de contact, rester assurée au moins jusqu'à l'arrêt.

Chiffre 9.3.2

Le poids-frein du frein de sécurité doit être déterminé par des essais selon DE 52.2, la vitesse initiale devant être identique à la vitesse de marche sur les tronçons pour lesquels le frein de sécurité est prescrit.

DE-OCF Article 77.2 Exploitation, formation et conduite des trains, freins

Chiffre 2.6

Le tableau de freinage III (illustration 14) est valable pour des déclivités déterminantes jusqu'à 70 ‰.

| Déclivité en ‰ | Poids-freins en tonnes pour 100 tonnes de poids du train (y compris les véhicules moteurs) = rapports de freinage pour les vitesses de marche de | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|----|----|----|-------|-------|------|----|----|----|----|----|----|------|
| | | | | | | | | | | | | | | km/h |
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
| Rampes selon chiffre 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5 | 6 | 6 | 8 | 11 | 16 | 23 | 30 | 38 | 47 | 57 | 68 | 83 | 97 |
| Pentes jusqu'à | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 6 | 7 | 9 | 11 | 15 | 20 | 27 | 34 | 42 | 51 | 61 | 72 | 87 | 102 |
| 10 | 10 | 10 | 12 | 15 | 19 | 24 | 31 | 38 | 46 | 55 | 65 | 76 | 91 | 106 |
| 15 | 15 | 15 | 16 | 19 | 23 | 28 | 35 | 42 | 50 | 59 | 69 | 80 | 95 | 110 |
| 20 | 20 | 20 | 21 | 24 | 28 | 33 | 40 | 47 | 55 | 64 | 74 | 85 | 99 | |
| 25 | 25 | 25 | 26 | 29 | 33 | 38 | 45 | 54 | 61 | 71 | 81 | 92 | | |
| 30 | 30 | 30 | 31 | 35 | 39 | 44 | 52 | 60 | 69 | 79 | 90 | | | |
| 35 | 35 | 35 | 36 | 41 | 45 | 51 | 59 | 68 | 78 | 89 | | | | |
| 40 | 40 | 40 | 42 | 47 | 52 | 58 | 67 | 77 | 88 | | | | | |
| 45 | 45 | 45 | 48 | 53 | 59 | 67 | 76 | 86 | | | | | | |
| 50 | 50 | 51 | 54 | 60 | 67 | 75 | 85 | | | | | | | |
| 55 | 55 | 57 | 61 | 68 | 76 | 85 | (95) | | | | | | | |
| 60 | 60 | 64 | 69 | 76 | 85 | (94) | | | | | | | | |
| 65 | 65 | 71 | 78 | 85 | 95 | (105) | | | | | | | | |
| 70 | 70 | 77 | 86 | 95 | (105) | | | | | | | | | |

Illustration 14 : Tableau de freinage III (version 2016). Rectangle rouge. Rapport de freinage minimal de 70 % pour une déclivité de 70 ‰ à V max 10 km/h.

Dans le cas du présent incident, un rapport de freinage unitaire minimum de 70 % était nécessaire pour parcourir la déclivité entre Les Avants et Chamby (rectangle rouge) et ceci à la vitesse maximale de 10 km/h.

Chiffre 4.2

Pour les pentes de plus de 60 ‰, les freins de sécurité peuvent, selon l'art. 52, al. 2 de l'ordonnance du 23 novembre 1983 sur les chemins de fer (OCF) être pris en considération pour le calcul du rapport de freinage, jusqu'à concurrence de 50 % de leur poids-frein déterminé avec des rails secs.

2.14.3 Règlementation MOB, annexe à l'horaire de service

L'annexe à l'horaire de service du MOB mentionne ce qui suit :

Poids-frein à compter

Sur les déclivités supérieures à 60 ‰ (Montreux - Montbovon), le frein magnétique sur rail doit être pris en considération dans le calcul de freinage pour obtenir le poids-frein des véhicules moteurs ; il y a donc lieu d'ajouter au poids-frein inscrit, ou à la tare du véhicule, les suppléments ci-après :

Locomotive HGem 2/2 : 11 t

Charges normales des véhicules et charges maximales remorquées :

- Charge normale des véhicules moteurs HGem - Gem 2/2 N° 2501-4 : 55 t
- Charge maximale remorquée sur les pentes jusqu'à 70 ‰ pour les HGem - Gem 2/2 N° 2501-4 : 150 t

Les charges maximales prévues sur les pentes ne sont autorisées que si le vide de 50-52 cm Hg peut être établi dans tout le train.

2.14.4 Directive OFT – Homologation des véhicules

La présente directive vise à indiquer au requérant et aux autres personnes intéressées le déroulement de la procédure d'homologation pour les véhicules ferroviaires ou leurs composants. Elle sert à préciser les lois, ordonnances et dispositions d'exécution applicables actuellement à l'homologation des véhicules en Suisse et à leurs composants.

Les articles suivants sont en relation avec le présent incident :

5.8 Dossier de sécurité

5.8.1 Généralités

Le dossier de sécurité des véhicules ferroviaires comprend l'ensemble des pièces attestant une exécution conforme aux prescriptions, y c. les déclarations de conformité correspondantes, le rapport de sécurité et, si nécessaire, le rapport d'évaluation de la sécurité ainsi que les rapports d'experts. Le dossier de sécurité doit être remis à l'OFT dans le cadre du processus de l'autorisation d'exploiter ou de l'homologation de série.

5.9 Vérifications de l'OFT

Afin de s'assurer du respect des exigences déterminantes, l'OFT et/ou un expert examine par sondage la sécurité technico-opérationnelle (STO) du véhicule. Sur la base des documents et des attestations fournis, l'OFT décide du mode opératoire du sondage et de l'organisme exécutant, ou s'il est possible de renoncer à cet examen STO. Si ce dernier est effectué par des experts, l'OFT s'appuiera sur leur rapport.

5.13 Modifications ultérieures

Conformément à l'art. 8, al. 1, let. b OCF, une autorisation d'exploiter est requise pour la mise en service de véhicules sujets à des changements essentiels. On entend par changement essentiel des modifications déterminantes pour la sécurité de systèmes, de constituants ou de fonctions (annexe 3, illustration 15). Il revient au requérant de statuer sur l'importance du changement.

La catégorie de changement (annexe 4, illustration 16) détermine la nature des rapports dressés par des organismes de contrôle indépendants.

2.15 Cas de dérive similaire sur le réseau des TPC

Le 4 octobre 2022, sur la ligne du BVB⁵ du réseau des Transports publics du Chablais (TPC), la locomotive HGem 2/2 N° 943 (véhicule similaire à la locomotive HGem 2/2 N° 2501 du MOB) circulait seule depuis Villars en direction du dépôt de Bévieux.

Après avoir quitté la section à crémaillère, le mécanicien a ralenti pour le franchissement de l'aiguille amont de la gare de Fontanaz-Seulaz. La zone de la gare est un secteur en adhérence avec une déclivité moyenne de la ligne de 37 ‰. Tout à coup la locomotive s'est mise à glisser sur une distance d'environ 70 mètres. Le mécanicien a essayé de remettre les essieux en rotation en ramenant le levier du frein électrique à 0 et en relâchant le frein pneumatique. La locomotive glissait toujours. Ensuite, il a activé manuellement le frein magnétique. La locomotive a ralenti et s'est immobilisée peu avant l'aiguille de sortie aval située juste avant le prochain secteur en crémaillère.

L'analyse des données de parcours de l'incident démontre que les conditions dans lesquelles la dérive s'est initiée (freinage à basse vitesse-blocage des essieux) est similaire à celle qui s'est produite à Sendy-Sollard et que le déroulement de l'incident correspond aux déclarations du mécanicien mentionnées ci-dessus.

Lors de l'analyse à posteriori d'un grand nombre de données de parcours extraites de la locomotive HGem 2/2 N° 943, le SESE a constaté que des décharges intempestives et répétées du frein de la locomotive « décharge loc » se produisaient (annexe 5, illustration 17).

⁵ BVB : Ligne Bex-Villars-Bretaye exploitée par les TPC

3 Analyse

3.1 Aspects techniques

3.1.1 Wagons ballastière Fdk

3.1.1.1 Efforts aux sabots des wagons Fdk

Les efforts aux sabots des deux wagons Fdk 901 et 904, contrôlés à l'état chargé après l'incident en atelier avec une référence de vide de 52 cm Hg, démontrent que les freins des deux wagons fonctionnaient correctement et que les valeurs obtenues concordent avec le calcul de freinage.

3.1.1.2 Rapport de freinage des wagons Fdk

Le levier d'inversion vide-chargé était placé sur la position correcte. Sans indication particulière sur le véhicule, le poids-frein chargé est donc calculé en additionnant la tare (7.8 t) + le poids d'inversion (6 t), ce qui donne un poids-frein maximal possible de 13.8 t.

La tare des wagons est de 7.8 t. Les wagons étaient chargés avec 13 t, ce qui donne un poids total d'environ 21 t. Le rapport de freinage peut être calculé comme suit : poids-frein 13.8 t / 21 t = 65 % de rapport de freinage unitaire.

Dans une telle configuration de charge, les wagons Fdk ne respectent pas la valeur minimale du rapport de freinage mentionnée dans le tableau de freinage III (illustration 14) et ne devaient pas circuler sur des déclivités de 70 ‰.

3.1.2 Locomotive HGem 2/2 N° 2501

3.1.2.1 Conception du système de freinage de la locomotive

3.1.2.1.1 Décharge locomotive

Au regard de la conception très rudimentaire du système de freinage pneumatique, la même électrovanne proportionnelle (illustration 7) pilote le freinage pneumatique de la locomotive et abaisse, en fonction de l'effort de freinage électrique, simultanément la pression dans la conduite générale du frein et celle du frein à vide pour assurer le freinage par compensation (chapitre 2.10.1.4.6) de la charge remorquée. Afin d'éviter le cumul du freinage électrique avec le freinage pneumatique conduisant à un sur-freinage de la locomotive, la fonction « décharge loc » est activée.

La décharge du frein de la locomotive a été réalisée par une conception pneumatique rudimentaire, soit la mise à l'air libre directe des cylindres de frein par l'intermédiaire d'une vanne 3/2. Lorsque la vanne se referme, la pression encore présente du côté amont, se rétablit abruptement dans les cylindres, ce qui peut conduire en fonction des conditions d'adhérence au blocage des essieux, en particulier en dessous de 5 km/h.

Par rapport au système standard de décharge équipant les véhicules moteurs freinés par air comprimé, la décharge du frein est réalisée au niveau du distributeur par une électrovanne qui égalise la pression entre le réservoir de commande et le réservoir auxiliaire. Avec une telle conception, un rétablissement rapide de la pression dans les cylindres de frein, une fois la décharge terminée, n'est pas possible.

3.1.2.1.2 Décharge train

Cette fonctionnalité découle également de la conception rudimentaire du système de freinage pneumatique, soit une même électrovanne proportionnelle pour le freinage de la locomotive et de la charge remorquée (illustration 7). Le système du frein de manœuvre traditionnel n'existe pas sur ces locomotives.

Cette fonction « décharge du train » n'en n'est pas une car il est techniquement impossible de décharger les wagons ; il s'agit d'une inhibition de l'alimentation de la conduite générale, respectivement de la conduite du frein à vide des wagons afin d'éviter lors d'un freinage pneumatique que ces derniers ne freinent également lorsque seul le frein pneumatique de la locomotive est souhaité.

3.1.2.2 Référence du vide - compensation en fonction de l'altitude - effort de freinage de la charge remorquée

Comme les mesures l'ont démontré, la pression de référence du vide varie en fonction de l'altitude. Aucune compensation de la valeur de référence permettant de maintenir une valeur de 52 cm Hg n'est installée sur ces locomotives. Lorsque la charge remorquée est freinée au vide, la différence par rapport à la référence (52 cm Hg) génère une perte d'effort de freinage de la charge remorquée freinée au vide. Ceci a toute son importance, dès lors que les véhicules remorqués, tels que ceux impliqués dans la dérive, ne disposent, déjà avec une référence complète de 52 cm Hg, que d'un très faible rapport de freinage de 65 %.

Lorsque la charge remorquée est freinée uniquement par l'intermédiaire du frein à air, l'absence du système de compensation du vide n'a aucune influence.

3.1.2.3 Freins magnétiques sur rails

Les freins magnétiques sont verrouillés par le critère de vitesse 5 km/h. Si un freinage d'urgence est déclenché en dessous de ce seuil, les freins magnétiques n'entrent pas en action automatiquement, ceci en contradiction avec les DE-OCF.

3.1.2.4 Système anti-enrayage pneumatique

A basse vitesse, comme l'effort de freinage électrique disponible n'est plus suffisant, le mécanicien doit terminer son freinage au moyen du frein pneumatique. Si un blocage des essieux intervient lors d'un freinage pneumatique lorsque la vitesse est inférieure à 5 km/h, le système d'anti-enrayage ne réagit plus et les essieux restent bloqués.

3.1.3 Homologation de la locomotive HGem 2/2 N° 2501

3.1.3.1 Calcul de freinage

Le calcul de freinage de la locomotive HGem 2/2 N° 2501 mentionne comme somme des efforts des freins magnétiques la valeur de 11.6 kN.

Comme le mentionne les DE-OCF, le poids-frein de sécurité (freins magnétiques) est une valeur en tonnes à déterminer sur la base d'essais dynamiques de freinage à la vitesse de marche sur les tronçons à parcourir. Ces essais n'ont pas été exécutés. Le constructeur a confondu l'effort d'appui des sabots magnétiques sur le rail (11.6 kN) avec la valeur du poids-frein magnétique qui doit être indiquée en tonnes.

Il a reporté comme valeur de poids-frein magnétique 11.6 t alors que cette valeur est erronée.

Cette même valeur de poids-frein magnétiques erronée a été prise en compte pour les neuf autres véhicules livrés aux diverses compagnies romandes. Cette valeur revêt une importance particulière sur la ligne des TPC, laquelle a des déclivités de 65 %.

3.1.3.2 Rapport d'expert

Un rapport d'expert a été établi par un collaborateur du constructeur du véhicule. L'expert a validé la valeur du poids-frein magnétique (11.6 t) comme étant correcte alors qu'elle était erronée et n'avait pas fait l'objet d'essais dynamiques de frein.

Le fait que les freins magnétiques n'étaient pas fonctionnels jusqu'à l'arrêt, tel que prescrit par les DE-OCF n'a pas non plus été relevé par l'expert.

Le rapport stipulait que le système de freinage de la locomotive respectait les exigences des DE-OCF, alors qu'il en était autrement.

3.2 Aspects organisationnels

3.2.1 Modifications apportées après l'homologation

3.2.1.1 Software

Le 17 novembre 2021, le propriétaire du véhicule annonce par courriel à l'OFT que la modification software concernant la charge (N°6.1) mentionnée dans l'homologation (chapitre 2.10.1.2) a été réalisée et que le software FLG implémenté porte désormais la version 1.2.0.2.

En sus, les modifications software suivantes ont été intégrées dans la version 1.2.0.1 du 1^{er} décembre 2020 :

Optimisation de l'anti-patinage, du frein de compensation EP, de la décharge de la locomotive, de la compensation automatique, de la pression maximale des cylindres de frein, ainsi que de la temporisation de surveillance d'entrée en crémaillère.

Les détails des modifications sont disponibles en annexe 1.

Ces modifications software, classifiées déterminantes pour la sécurité selon la directive OFT (annexes 3–4, illustrations 15–16), devaient être annoncées à l'OFT, ce qui n'a pas été fait.

3.2.1.2 Pression aux cylindres de freins

La pression maximale aux cylindres de frein a été augmentée à 6 bars (au lieu de 3.8 bars) lorsque le véhicule est immobilisé.

Les spécifications du fabricant des cylindres de frein mentionnent que la pression maximale est limitée à 5 bars.

L'utilisation d'un cylindre de frein avec une surcharge de 20 % supérieure à la limite maximale imposée par le fabricant provoque des contraintes internes pouvant endommager les composants du cylindre de frein.

Une modification au niveau des freins est classifiée comme essentielle et déterminante pour la sécurité, conformément à la directive OFT (annexe 4, illustration 17). Cette modification n'a également pas été annoncée à l'OFT.

3.3 Aspects d'exploitation

3.3.1 DE-PCT MOB – Prise en compte du poids-freins magnétiques

Les DE-PCT MOB ne respectent pas le contenu de la DE-OCF 77.2 chiffre 4.2 qui stipule qu'au plus 50 % du poids-frein de sécurité peut être pris en compte dans les pentes supérieures à 70 ‰. Elles incluent dans le calcul la totalité de la valeur du poids-frein magnétique (100 %), alors que seule la moitié de cette valeur est admise. De plus la valeur calculée de 11 t est erronée.

3.3.2 Essai de frein aux Avants

Pour le mouvement de manœuvre prévu initialement de la voie 111 pour retourner en gare des Avants, un essai de frein n'était pas nécessaire (PCT R 300.4 chiffre 1.8.2) car la charge remorquée était inférieure (42 t) à 5 fois la charge du véhicule (29.4 t).

Par contre, avant de circuler comme mouvement de manœuvre en pleine voie en direction de Sendy-Sollard, un essai de frein aurait dû être exécuté (R 300.4 chiffre 4.2.2) car les mouvements de manœuvre en pleine voie sont soumis, pour les essais de frein, aux mêmes prescriptions que les trains. Cet essai n'a pas été effectué. Cependant, il n'aurait de toute façon pas pu l'être au regard des conditions suivantes :

La composition était immobilisée, en aval du signal d'entrée de la gare des Avants, dans un secteur en déclivité d'environ 70 ‰.

L'effort de retenue du frein d'immobilisation de la locomotive est de 26 kN. La locomotive immobilisée dans une pente de 70 ‰ induit une poussée de 20 kN. Cet effort suffisait à assurer l'immobilisation de son propre poids.

Pour effectuer l'essai de frein (R 300.5 chiffre 4.3.1), les freins des wagons devaient être lâchés. Ces deux wagons (42 t) non freinés dans une pente de 70 ‰ induisent une poussée supplémentaire de 28 kN sur la locomotive.

La poussée induite par la pente sur la composition (locomotive 20 kN + deux wagons 28 kN) soit un total de 48 kN était supérieure à l'effort de retenue du frein d'immobilisation de la locomotive de 26 kN. Dans ces conditions, un essai de frein n'aurait pas pu être exécuté conformément aux prescriptions, car la composition se serait mise en mouvement lors de l'essai de frein.

3.4 Evaluation des performances de freinage lors de l'arrêt au signal d'entrée de Sendy-Sollard

La décélération moyenne lors du freinage devant le signal d'entrée de Sendy-Sollard était de 0.4 m/s^2 . En y ajoutant de l'accélération de 0.7 m/s^2 induite par la pente de 70 ‰, on obtient une décélération effective du convoi, rapportée sur une voie en palier, de 1.1 m/s^2 . Si seule la locomotive freinait lors de son arrêt devant le signal d'entrée, une telle décélération du convoi n'aurait pas pu être obtenue. Pour atteindre une telle valeur, les deux ballastières ont participé au freinage de manière conséquente, sans quoi la composition ne se serait pas immobilisée.

3.4.1 Influence de la compensation de l'effort au tampon

Dans une pente, l'effort de poussée induit par les wagons se reporte sur le tampon de la locomotive. Tel que mentionné dans la release note de la version software 1.2.0.1 (annexe 2, table 1) la courbe de l'effort de compensation a été modifiée avec pour conséquence une entrée en action retardée du freinage des wagons.

Dans ce cas, l'effort de freinage de toute la composition est uniquement assuré par les deux essieux de la locomotive d'un poids adhérent de 29.4 t par rapport à la poussée induite une charge remorquée pouvant aller jusqu'à 150 t.

Le coefficient d'adhérence rail-roue n'étant pas infini, dans une telle configuration avec un effort de compensation réduit, les essieux tendent à glisser puis à se bloquer, ce qui conduit à une perte d'adhérence complète. L'enquête n'a pas permis de quantifier exactement l'influence de l'effet de la réduction de la compensation de l'effort au tampon sur la mise en dérive du convoi.

3.5 Aspects humains

Lorsque le mécanicien a amorcé le freinage final pour immobiliser son convoi sur la voie 1 en gare de Sendy-Sollard, la vitesse de son convoi était d'environ 5 km/h. Cette vitesse était tout à fait adaptée à la situation.

Les diverses actions entreprises par le mécanicien durant la dérive (dont à un certain moment la manipulation de l'inverseur de marche) ont permis la remise en rotation des essieux et l'immobilisation du convoi après environ 900 m de dérive.

3.6 Synthèse des conditions techniques pouvant conduire à un blocage de essieux des locomotives HGe lors d'un freinage à basse vitesse

Le problème le plus critique se situe lors d'un freinage final dans la zone des basses vitesses, soit en dessous de 10 km/h.

A basse vitesse, l'effort de freinage électrique disponible est réduit. Le freinage final jusqu'à l'immobilisation, doit être exécuté à l'aide du frein pneumatique par la mise sous pression des cylindres de frein.

Comme l'enquête le relève, la fonction « décharge locomotive » est activée régulièrement et de manière imprévisible par l'électronique de commande sans intervention du mécanicien. La disparition de l'ordre « décharge locomotive », et au vu de la conception rudimentaire du système de décharge pneumatique (tout ou rien par mise à l'air libre des cylindres de freins), conduit au rétablissement abrupt de la pression pneumatique dans les cylindres de frein. Ceci crée des conditions latentes propices au glissement des essieux, ceci en fonction des différentes conditions d'adhérence du tronçon à parcourir.

Si de plus cette décharge intempestive intervient à basse vitesse où le frein pneumatique doit être desservi pour l'immobilisation finale et que dans cette plage de vitesse l'anti-enrayage pneumatique n'est plus actif (< 5 km/h), les roues restent bloquées et glissent sur le rail. L'électronique du véhicule ne détectant plus de vitesse, car les essieux sont bloqués, elle considère le véhicule comme étant immobilisé et le frein à ressort entre automatiquement en action après 30 secondes. Dans ce cas, une remise en rotation des essieux bloqués n'est pas possible.

Si le mécanicien se rend compte que l'efficacité du freinage n'est pas celle qu'il était en droit d'attendre, et qu'il ne peut pas s'immobiliser à l'endroit prévu, il va en sus déclencher le serrage d'urgence. Si un serrage d'urgence est déclenché lorsque les roues du véhicule sont bloquées, les sabots magnétiques n'entrent pas en action, car ils sont verrouillés par la vitesse nulle, le véhicule est alors « détecté » comme immobilisé.

La modification du software concernant de la compensation de l'effort sur les véhicules du MOB a également pu jouer un rôle dans la survenance de la dérive en gare de Sendy-Sollard. Cependant, son influence n'a pas pu être quantifiée.

4 Conclusions

4.1 Faits établis

4.1.1 Aspects techniques

4.1.1.1 Wagons Fdk

- Les wagons Fdk étaient chargés à 13 t, respectivement 13.5 t alors que la charge maximale admissible de ces wagons est de 15 t. Ils n'étaient par conséquent pas surchargés.
- Avec une valeur de référence de vide de 52 cm Hg, l'effort aux sabots de frein des deux wagons Fdk 901 et 904 correspondait aux valeurs de construction.
- Lors de l'arrêt au signal d'entrée de Sendy-Sollard, sur un secteur de voie en forte déclivité, les wagons Fdk ont participé au freinage de la composition, sinon celle-ci n'aurait pas pu être immobilisée devant le signal.

4.1.1.2 Locomotive

4.1.1.2.1 Conception et homologation

- La conception pneumatique rudimentaire du système de la décharge du frein de la locomotive provoque, lors de la disparition de l'ordre, un rétablissement abrupt de la pression dans les cylindres de frein, ce qui peut conduire en fonction des conditions d'adhérence au blocage des essieux.
- Si un blocage des essieux intervient lors d'un freinage pneumatique lorsque la vitesse est inférieure à 5 km/h, le système d'anti-enrayage n'est plus actif et les essieux restent bloqués.
- La décharge du frein pneumatique de la locomotive HGem 2/2 N° 2501 s'activait aléatoirement par l'intermédiaire de l'électronique de commande sans que le mécanicien n'en ait connaissance et n'ait sollicité une décharge du frein. Ces décharges aléatoires et répétées ont également été observées sur les locomotives des TPC (annexe 5, illustration 17).
- La valeur du poids-frein magnétique indiquée sur la locomotive (11.6 t) est erronée. Sa détermination devait être basée sur des essais dynamiques, lesquels ont été omis lors des essais avant l'homologation.
- Les freins magnétiques ne sont pas actifs jusqu'à l'arrêt, alors que les DE-OCF le spécifient.
- Le rapport d'expert établi lors de l'homologation stipulait que le système de freinage de la locomotive respectait les exigences des DE-OCF, alors qu'il en était autrement.

4.1.1.2.2 Modifications apportées

- L'augmentation de la pression maximale à 6 bars aux cylindres de frein n'a pas eu d'influence sur la survenance de la dérive, car elle n'intervient qu'après l'arrêt.
- La modification du software concernant la compensation automatique de l'effort au tampon a également pu jouer un rôle dans la survenance de la dérive en gare de Sendy-Sollard, mais son influence n'a pas pu être quantifiée.

4.1.2 Aspects opérationnels ou procéduraux

Modifications ultérieures aux véhicules et devoir d'annonce :

La procédure du système de management intégré (SMI) du MOB ne détaille pas la classification des modifications ainsi que la responsabilité et le contrôle de la soumission des modifications pour l'homologation des véhicules à l'autorité de surveillance OFT.

4.1.3 Aspects d'exploitation

- Le convoi a été capable de s'immobiliser devant le signal d'entrée de Sendy-Sollard dans un secteur où la déclivité de la voie est d'environ 70 ‰. Lors de cet arrêt, les freins ont fonctionné correctement.
- Deux minutes après, lors du freinage final à la vitesse d'environ 5 km/h, sur la voie 1 en gare de Sendy-Sollard dans un secteur où la déclivité de voie est de 27 ‰, le convoi n'a pas été en mesure de s'immobiliser et est parti en dérive.
- Les DE-PCT MOB ne respectaient pas le contenu de la DE-OCF 77.2 chiffre 4.2 qui stipule qu'au plus 50 % du poids-frein de sécurité peut être pris en compte dans les pentes supérieures à 60 ‰. La totalité du poids-frein était prise en compte.
- Avec une charge de 21 t (rapport freinage 65 %), les wagons Fdk ne respectent pas la valeur minimale du rapport de freinage mentionnée de 70 % dans le tableau de freinage III et n'aurait pas dû circuler avec une telle charge sur les déclivités de 70 ‰.
- La locomotive ne disposant pas d'un système de compensation de la référence du vide en fonction de l'altitude, le rapport de freinage des wagons Fdk de 65 % tel que défini à la valeur de 52 cm Hg ne pouvait être garanti. Les DE-MOB mentionnent que les charges maximales prévues sur les pentes ne sont autorisées que si le vide de 50–52 cm Hg peut être établi dans tout le train.

4.1.4 Aspects humains

- La vitesse de circulation du convoi de 5 km/h lors de l'engagement du freinage pour l'immobilisation du convoi sur la voie 1 en gare de Sendy-Sollard était adaptée à la situation.
- Une fois l'adhérence perdue, consécutivement au blocage des essieux sur la voie 1 en gare de Sendy-Sollard, le rapport de freinage de composition s'est considérablement réduit, rendant alors la dérive du convoi inévitable.

4.2 Cause

La dérive du convoi depuis la voie 1 en gare de Sendy-Sollard sur une distance d'environ 900 mètres en pleine voie est due au fait que lors du freinage pour l'immobilisation en gare, les deux essieux de la locomotive HGem 2/2 N° 2501 se sont bloqués et ont provoqué une perte de l'adhérence de la locomotive. Le convoi était alors freiné uniquement par les deux wagons Fdk chargés, qui avaient un rapport de freinage unitaire (65 %) insuffisant pour la ligne à parcourir, ce qui réduisait par conséquent le rapport de freinage du convoi en dessous de la valeur 60 %, soit trop faible pour pouvoir immobiliser le convoi.

Ont contribué à la survenue de la dérive :

- L'activation par l'électronique de commande de la décharge du frein de la locomotive ; ce qui a inhibé le frein pneumatique de la locomotive durant la phase finale du freinage et sa réactivation, provoquant une remontée brusque de la pression aux cylindres de frein conduisant au blocage des essieux.
- L'anti-enrayage pneumatique inactif en dessous 5 km/h.
- Le non-fonctionnement des freins magnétiques jusqu'à l'arrêt.

A pu contribuer à la dérive :

La modification software de la compensation automatique de l'effort au tampon.

5 Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'incident grave

5.1 Recommandation de sécurité

Concernant les recommandations de sécurité, la législation suisse prévoit dans l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports du 17 décembre 2014 (OEIT), état le 1^{er} septembre 2023 (RS 742.161), la réglementation suivante :

Art. 48 Recommandations en matière de sécurité

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

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

³ *Le département compétent peut adresser des mandats de mise en œuvre à l'office fédéral compétent.*

Cependant toutes les organisations, entreprises et personnes sont invitées à améliorer la sécurité du transport public dans le sens des recommandations de sécurité émises.

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

5.1.1 DE-PCT MOB

5.1.1.1 Déficit de sécurité

Les dispositions d'exécution des prescriptions d'exploitation du MOB (DE-PCT) ne respectent pas le contenu de la DE-OCF 77.2 chiffre 4.2 qui stipule qu'au plus 50 % du poids-frein de sécurité peut être pris en compte dans les pentes supérieures à 60 ‰. La totalité du poids-frein est prise en compte par l'entreprise pour le calcul de freinage.

5.1.1.2 Recommandation de sécurité n°185

Le SESE recommande à l'Office fédéral des transports (OFT) de demander au MOB de procéder à une vérification des valeurs des poids-frein magnétiques de tous leurs véhicules et d'adapter en conséquence la table des valeurs de poids-frein à prendre en compte dans le calcul de freinage mentionnées dans leurs DE-PCT.

5.1.2 Système de management intégré MOB

5.1.2.1 Déficit de sécurité

Le système de management intégré (SMI) du MOB contient une procédure désignée « libérer les véhicules » (après maintenance, réparation ou modification) qui décrit les différentes étapes de contrôle et de tests jusqu'à la remise en service du véhicule. Par contre cette dernière ne précise pas comment et par qui la classification des modifications essentielles ou non-essentielles est réalisée et qui doit, le cas échéant, effectuer les démarches nécessaires auprès de l'autorité de surveillance OFT.

5.1.2.2 Recommandation de sécurité n° 186

Le SESE recommande à l'Office fédéral des transports (OFT) de demander au MOB de procéder à une adaptation des procédures de son système de management intégré (SMI) afin que lors de modifications aux véhicules, la responsabilité de la classification de modifications et le contrôle de leurs soumissions pour l'homologation des véhicules à l'autorité de surveillance OFT y soit réglée.

5.1.3 Homologation type de véhicules non-interopérable

5.1.3.1 Déficit de sécurité

Les travaux d'expertise exécutés, dans le cadre des vérifications de la sécurité technico-opérationnelle lors de l'homologation de véhicules non-interopérables, diffèrent de ceux exécutés pour une homologation de véhicules standard qui circulent sur le réseau de base, couvert par les STI⁶, locomotive et voitures voyageurs. Comme ces travaux d'expertise ne sont pas exécutés régulièrement, il est difficile pour des experts de disposer des connaissances particulières, comme les spécificités des DE-OCF, ainsi que suivre la veille réglementaire, nécessaire à l'exécution de leur mandat.

5.1.3.2 Recommandation de sécurité n° 187

Lors du processus d'homologation de véhicules non-interopérables, le SESE recommande à l'Office fédéral des transports (OFT) de vérifier, lors de leurs sondages, que les conditions spécifiques ont été prises en compte par le rapport d'expert, tout particulièrement en ce qui concerne l'interaction entre les différents systèmes de freinage dans leur contexte d'exploitation.

5.2 Avis de sécurité

Aucun

⁶ STI : Spécification techniques pour l'interopérabilité

5.3 Mesures prises depuis l'incident grave

Les mesures prises et dont le SESE a connaissance sont décrites ci-après sans autre commentaire.

Le 15 novembre 2022, le SESE a présenté au constructeur les constatations consécutives aux essais dynamiques, corroborées par l'analyse des données de parcours des deux locomotives (MOB et TPC).

Mesures prises consécutivement par le constructeur :

- Le 5 décembre 2022, il a informé par lettre les détenteurs de véhicules similaires sur les problèmes rencontrés sur ces véhicules.
- Le 16 janvier 2023, il a communiqué aux détenteurs de véhicules la mise en œuvre des mesures correctives suivantes :
 - *Automatisches Auslösen der Lok (SW-Änderung)*:
 - Anpassung des automatischen Auslösens;
 - Optimierung Ablösekenlinie ED/P-Bremse der Lok.
 - *Automatisches Auslösen des Zuges (SW-Änderung)*:
Deaktivierung der Funktion: nur noch manuelle Bedienung durch Lokführer möglich.
 - *Magnetschienenbremse Wirkung bis/bei Stillstand (SW- und Verdrahtungsänderung)*:
Wirkung der Mg-Bremse bei Schnellbremsung bis zum Stillstand.
 - *Anschrift Bremsgewicht Sicherheitsbremse (Test & Dokumentation)*:
Ermittlung Bremsgewicht Sicherheitsbremse und Änderung der Anschriften.

Mesures prises par le MOB :

- Sur le tronçon Montbovon-Montreux (fortes pentes) la charge maximale des wagons Fdk (901-904) est limitée à 10 tonnes.
- Essais de frein dans les gares des Avants voie 111 et Oeschseite voie 21 : « Avant de mettre en mouvement un convoi depuis ces voies, il est impératif d'effectuer un essai de frein complet ».
- Jusqu'à la mise en conformité de l'activation des freins magnétiques jusqu'à l'arrêt, la valeur à prendre en compte pour le calcul de freinage des locomotives HGem 2/2 N° 2501–2504 a été ramenée à 0 t. Après les adaptations techniques et suite aux essais dynamiques, la valeur du poids-frein magnétiques a été déterminée à 4.2 t et publiée dans l'annexe à l'horaire de service, version du 31 mai 2023.

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

Annexe 1

Table des modifications software de 2016-2021

| Date | Homologation ou modifications | Version logiciel FLG |
|------------|--|--|
| 18.03.2016 | Autorisation d'exploiter OFT Validité temporaire jusqu'au 30.7.17 | Pas mentionnée |
| 18.07.2016 | Stadler : SW-Konfigurationsliste | 1.0.1 |
| 23.09.2019 | Stadler : Release Note Configuration | 1.1.4.4 |
| 20.11.2019 | Autorisation d'exploiter OFT CH5120190405 Validité temporaire jusqu'au 30.11.2022 (une charge ouverte con- cernant les charges remorquées sur réseau crémaillère) | 1.1.3 |
| 02.07.2020 | Stadler : Release Note Configuration | 1.1.4.6 |
| 01.12.2020 | MOB : Release Note (annexe 2) élec- tronique Selectron | 1.2.0.1 |
| 14.09.2021 | MOB : Release Note électronique Se- lectron | 1.2.0.2 |
| 17.11.2021 | Levée de la charge 6.1 (modification carte SABO du TELOC) de l'autorisa- tion d'exploiter temporaire CH5120190405 | 1.2.0.2 La Release Note (annexe 2) qui comprend également d'autres modifications implémentées lors de la version 1.2.0.1 n'a pas été fournie à l'OFT. |

Table 1 : Table des différentes versions de software.

Annexe 2

Release note des modifications implémentées dans la version software 1.2.0.1

| Bug Nr | Titre | Description | Status | Release |
|--------|----------------------------|---|--------|---------|
| | | Optimisation de la gestion de l'adhérence en traction et intégration des améliorations réalisées sur la série 9000. | tested | 1.2.0.1 |
| 1 | Optimisation anti-patinage | | tested | 1.2.0.1 |
| 2 | Selection anti-Patinage | Possibilité de sélectionner la logique d'anti-patinage à utiliser, logique d'origine / logique nouvelle, ceci afin de pouvoir effectuer des comparatifs en condition réelle. | tested | 1.2.0.1 |
| 3 | Anti-cabrage | Ajout d'une compensation de cabrage, pour ce faire, en fonction du sens de marche, l'effort de traction de l'essieu avant est diminué de max 8%, quand à l'essieu arrière, son effort est augmenté de 8%. En freinage électrique, il n'y a pas de compensation du cabrage. | tested | 1.2.0.1 |
| 4 | Frein de compensation EP | La conception du système pneumatique de cette série de véhicule ne permet pas la réalisation d'un véritable frein EP. En effet, la même EV pilote le frein automatique du train et le frein de la locomotive. La priorité doit toujours aller à la consigne de frein que le mécanicien souhaite donner à la CG. L'utilisation d'un frein EP automatique induit donc en erreur le mécanicien avec une situation peu claire lors de l'arrêt. Suite à la formation récurrente de méplats aux roues, le nouveau de compensation par du frein EP est diminué. La priorité est donnée à la CG dans toutes les situations. | tested | 1.2.0.1 |
| 5 | Retroviseurs | Pas de fermeture automatique des rétroviseurs à 20 km/h. En effet, ces rétroviseurs n'entrent pas en conflit avec le gabarit. | tested | 1.2.0.1 |
| 6 | Décharge locomotive | La décharge de la locomotive par le mécanicien est rendue possible également à l'arrêt lorsque: - La pédale de décharge est pressée La décharge est empêchée en cas de: - Frein d'urgence (pas de changement) De cette façon, la commande est identique aux locomotives 6000, 8000 | tested | 1.2.0.1 |
| 7 | Compensation automatique | L'efficacité de la compensation automatique est adaptée aux besoins de la ligne. Celle-ci provoque l'abaissement de la pression de la CG en fonction du frein électrique. La valeur maximale d'abaissement de la CG est adaptée à l'effort maximum du frein électrique. La compensation automatique était trop importante et ne permettait pas une circulation harmonieuse en forte pente. | tested | 1.2.0.1 |
| 8 | Retroviseurs | Lorsque la porte de cabine s'ouvre, les rétroviseurs se ferment. Cette fermeture est temporisée de 1s. De plus lors d'une longue pression, les rétroviseurs s'ouvrent à nouveau, la fonction liée à la porte est alors ignorée. Lors d'une nouvelle pression prolongée, l'état de la porte est à nouveau pris en compte. Lors de l'activation / désactivation de la prise en compte de la porte, une quittance sonore se fait entendre. | tested | 1.2.0.1 |
| 10 | Moteur diesel | La consigne de vitesse du moteur diesel dépend de l'effort de traction demandé. Celui-ci est pris en compte que la locomotive se trouve en mode thermique ou non. La consigne d'effort n'est à prendre en compte que lorsque la locomotive se trouve en mode thermique. En mode électrique (moteur thermique en préchauffage) il n'est pas nécessaire de tenir compte de la consigne d'effort (moteur au ralenti) | tested | 1.2.0.1 |
| 11 | Tempo surv crem. | La surveillance de l'embrayage est augmentée de 3 à 15s. En effet, avec le vieillissement des éléments, la surveillance est trop sévère et provoque régulièrement un FU lors de l'entrée en crémaillère. | tested | 1.2.0.1 |

Table 2 : Détails des modifications software de la version 1.2.0.1 (Source : MOB).

Annexe 3

Extrait de la directive OFT pour l'homologation des véhicules

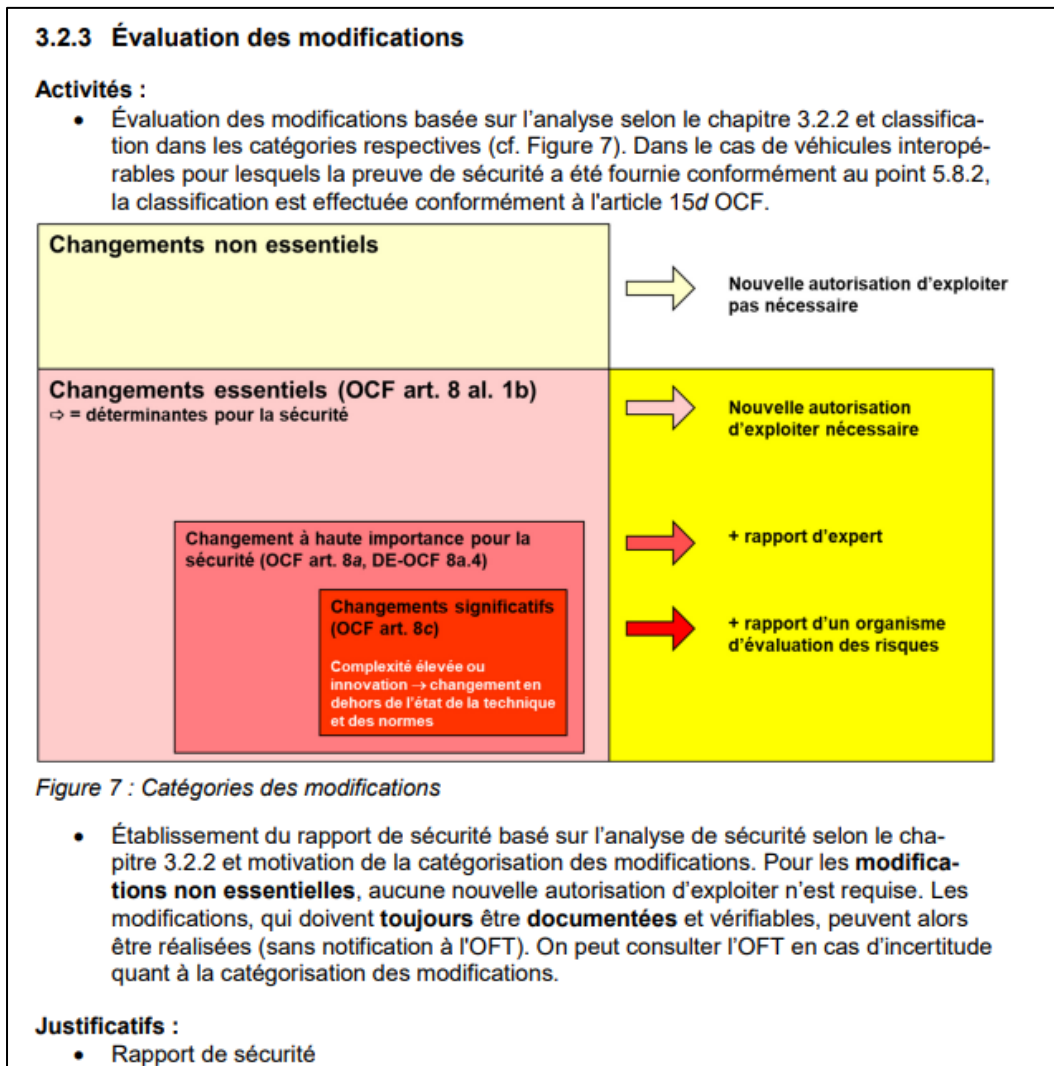


Illustration 15 : Extrait de la directive, partie évaluation des modifications (Source : OFT).

Annexe 4

Extrait de la directive OFT pour l'homologation des véhicules

4 Changements de logiciels

4.1 Classement des changements de logiciels

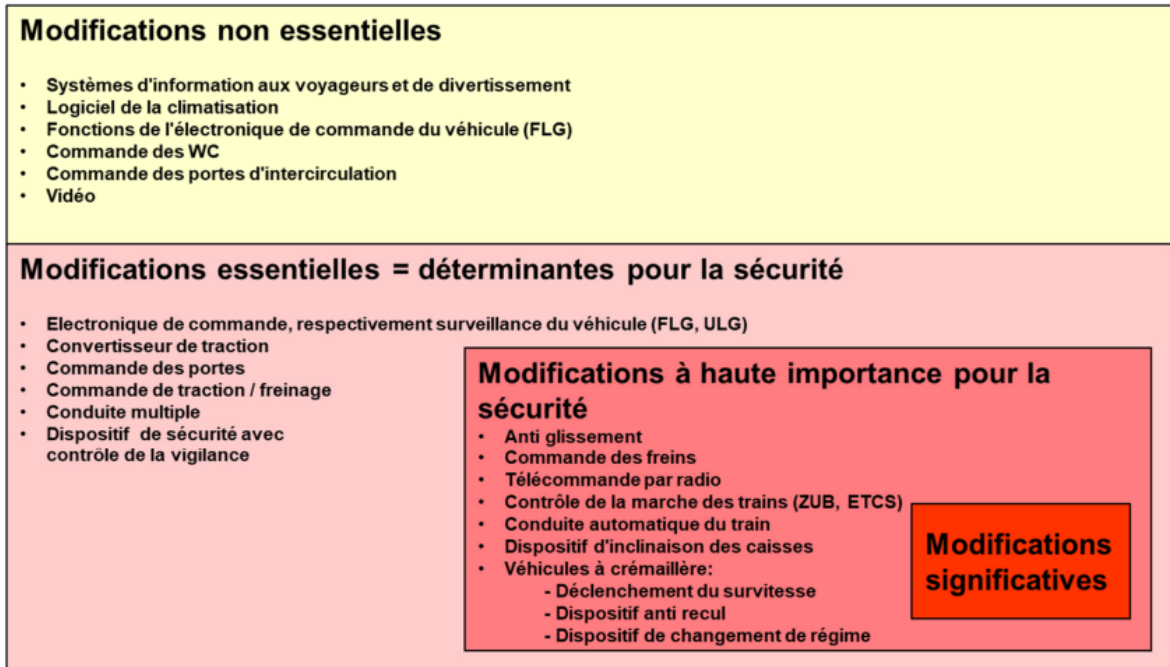


Figure 8 : Classement des changements de logiciels (liste des exemples non exhaustive)

Illustration 16 : Extrait directive, partie classification des modifications de logiciels (Source : OFT).

Annexe 5

Données tachygraphiques Loc 943 des TPC

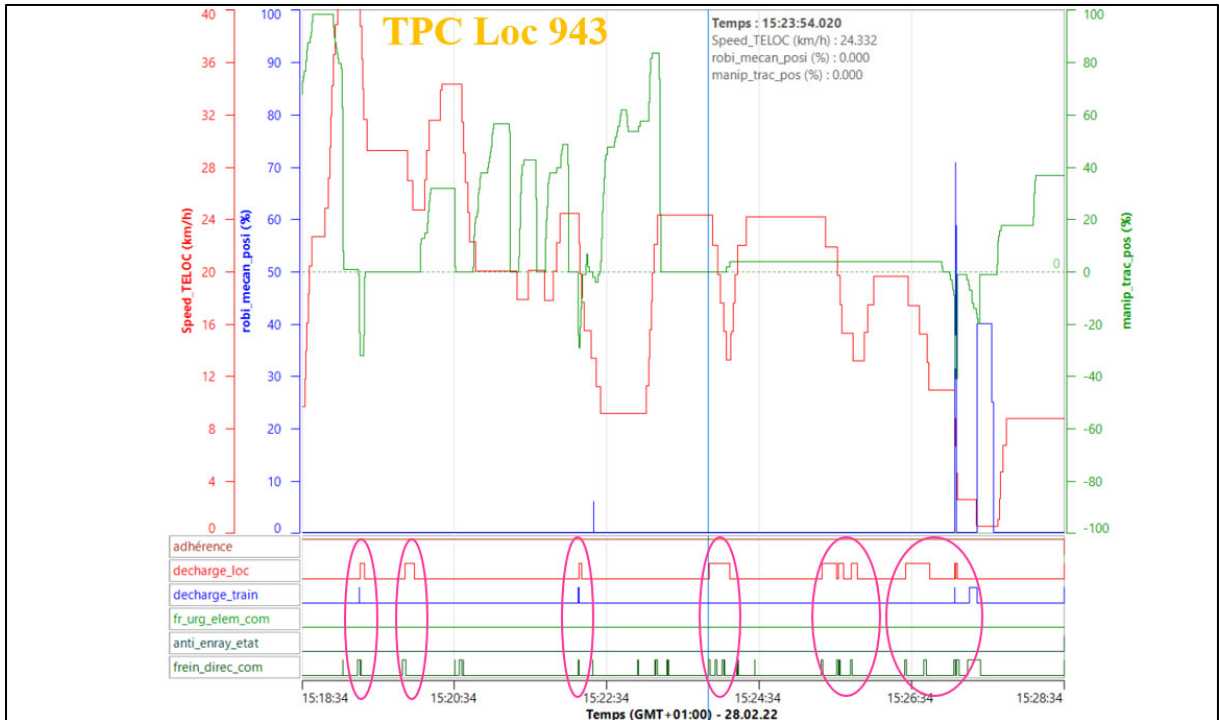


Illustration 17 : Extrait des données tachygraphiques de la locomotive 943 des TPC. Cercles rouges : décharges intempestives et répétées des freins de la locomotive.