



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 et le déraillement d'un
train TRAVYS

du 2 octobre 2015

à Baulmes (VD)

N° reg.: 2015100201

Remarques générales sur le présent rapport

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

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

Glossaire

TRAVYS :	Transports Vallée de Joux - Yverdon-les-Bains - Sainte-Croix SA
MBC :	Transports de la région Morges - Bière - Cossonay SA
Be 4/4 :	Automotrice voyageur 2 ^{ème} classe avec 4 essieux moteurs
BDt :	Voiture de commande 2 ^{ème} classe avec compartiment fourgon
Bt :	Voiture de commande 2 ^{ème} classe
Coffret LIX :	Boîtier électronique avec socle normalisé, utilisé pour l'appareil d'arrêt automatique des trains et l'appareil de sécurité
PCT :	Prescription suisses de circulation des trains RS 742.173.001
DE-PCT :	Dispositions d'exécution des prescriptions de circulation des trains
OASF :	Ordonnance sur les activités déterminantes pour la sécurité dans le domaine ferroviaire, RS 742.141.2
OAASF :	Ordonnance DETEC réglant l'admission aux activités déterminantes pour la sécurité dans le domaine ferroviaire, RS 742.141.22
OEIT :	Ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports RS 742.161
OFT :	Office fédéral des transports
OCVM :	Ordonnance du DETEC sur l'admission à la conduite de véhicules moteurs des chemins de fer, RS 742.141.21
Poids-frein :	Valeur en tonne (t) qui indique le degré d'efficacité des freins d'un véhicule. Les tonnes de poids-frein sont des valeurs abstraites. Elles ne sont pas comparables aux tonnes qui quantifient une masse. Le poids-frein divisé par la masse détermine le rapport de freinage du véhicule

Table des matières

Résumé.....	7
Aperçu.....	7
Présentation succincte.....	7
Cause.....	8
Recommandation de sécurité	8
1. Faits établis.....	9
1.1 Situation avant l'évènement.....	9
1.1.1 Lieu de l'accident.....	9
1.1.2 Description et spécificités de la ligne TRAVYS Yverdon-les-Bains – Ste-Croix.....	9
1.1.3 Mécanicien du train 8008	10
1.1.4 Matériel roulant le jeudi 1 ^{er} octobre 2015, veille de l'accident	10
1.1.5 Vendredi 2 octobre 2015	10
1.2 Déroulement de l'évènement.....	11
1.3 Dommages corporels.....	12
1.4 Dommages matériels.....	12
1.4.1 Infrastructure	12
1.4.2 Matériel roulant.....	12
1.4.3 Tiers.....	13
1.4.4 Atteinte à l'environnement	13
1.5 Incendie	13
1.6 Personnes impliquées	13
1.6.1 Personnel de l'entreprise ferroviaire	13
1.6.2 Voyageurs	14
1.7 Entreprises concernées.....	14
1.7.1 Infrastructure	14
1.7.2 Entreprise de transport.....	14
1.7.3 Propriétaire des véhicules	14
1.7.4 Tiers.....	14
1.8 Constatations médicales.....	14
1.9 Véhicules ferroviaires	14
1.9.1 Formation des trains 7 et 8008.....	14
1.9.2 Caractéristiques des véhicules des trains 7 et 8008	15
1.10 Constatations relatives aux véhicules ferroviaires.....	15
1.10.1 Etat des véhicules avant l'accident.....	15
1.10.2 Constatations sur le lieu de l'accident	15
1.10.3 Composants retirés pour contrôle de fonctionnement.....	17
1.11 Météo, état des rails	18

1.12 Installations ferroviaires	18
1.13 Systèmes de sécurité ferroviaire	18
1.13.1 Infrastructure	18
1.13.2 Matériel roulant.....	18
1.14 Tachygraphe.....	18
1.15 Transmission	19
1.16 Vidéo-surveillance	19
1.16.1 Vidéo-surveillance en gare de Ste-Croix.....	19
1.16.2 Vidéo-surveillance de la voiture de commande BDt n°53	19
1.17 Investigations complémentaires	20
1.17.1 Gestion du trafic	20
1.17.2 Déroulement dans le temps de l'évènement	20
1.17.3 Formation et expérience du mécanicien 8008.....	20
1.17.4 Expertise psychologique suite à l'accident	21
1.17.5 Evaluation des exigences psychologiques pour un mécanicien de catégorie B100 -par l'expert psychologue du SESE.....	22
1.17.6 Etat de l'asservissement de l'automotrice et de la voiture de commande	22
1.17.7 Appareil de sécurité SAAS/ASEGA.....	23
1.17.8 Prescriptions de freinage.....	24
1.17.9 Tests en gare du 12 octobre 2015.....	24
1.17.10 Tests en ligne du 3 novembre 2015	25
1.17.11 Contrôle du câblage des circuits d'asservissement.....	26
1.17.12 Simulation de la dérive du train 8008	26
1.17.13 Contrôle de l'appareil de sécurité de l'automotrice Be 4/4 n°2 au banc d'essai	27
1.17.14 Alimentation en air comprimé de l'automotrice.....	27
1.17.15 Contrôle d'éléments de frein de l'automotrice Be 4/4 n°2 au banc d'essai.....	27
1.17.16 Contrôle du distributeur de frein de la voiture de commande BDt n°53 et du relais de pression	28
1.17.17 Contrôle du relais de sécurité des portes Pos. 184.....	28
2. Analyse	29
2.1 Préambule	29
2.2 Aspects techniques.....	29
2.2.1 Etat des véhicules avant la dérive	29
2.2.2 Appareil de sécurité.....	30
2.2.3 Frein automatique.....	30
2.2.4 Conditions pour la dérive.....	32
2.2.5 Poids-frein à main des véhicules.....	32
2.2.6 Départ en dérive du train 8008	33

2.3	Aspects d'exploitation	33
2.3.1	Marche du train 8008.....	33
2.3.2	Mesures prises par le centre de télécommande.....	33
2.4	Aspects humains	33
2.4.1	Formation du mécanicien	33
2.4.2	Connaissance du véhicule.....	34
2.4.3	Appareil d'arrêt automatique des trains.....	34
2.4.4	Techniques de dépannage	34
2.4.5	Travail sous pression du temps.....	34
2.4.6	Aspects psychologiques	34
2.4.7	Examens psychologiques pour mécaniciens de la catégorie B et B100	35
3.	Conclusions	36
3.1	Faits établis.....	36
3.2	Causes.....	37
4.	Recommandations de sécurité et mesures prises après l'accident.....	38
4.1	Recommandations du rapport intermédiaire.....	38
4.2	Recommandations de sécurité découlant du présent rapport	39
4.2.1	Déficit de sécurité	39
4.2.2	Déficit de sécurité	40
4.3	Mesures prises depuis l'accident.....	41
4.3.1	Interdiction de circuler en formation "2 caisses"	41
4.3.2	Ordre de service n° 21/2015.....	41
4.3.3	Avis au personnel n° 81/2015.....	41
4.3.4	Recommandations de sécurité n° 88 et 89.....	41
Annexe 1	.....	42
	Déclivités et vitesses maxima autorisées sur le trajet de dérive du train 8008	42
Annexe 2	.....	43
	Données tachygraphiques , vue d'ensemble.....	43
Annexe 2	.....	44
	Données tachygraphiques, arrivée du train 7 à Ste-Croix et marche du train 8008.....	44
Annexe 3	.....	45
	Transcription des conversations radio du déroulement de l'évènement	45
Annexe 4	.....	47
	Simulation de la dérive	47

Résumé

Aperçu

Moyen de transport :	Chemin de fer
Entreprises impliquées :	
• Gestionnaire d'infrastructure :	TRAVYS, SA, Yverdon
• Entreprise de transport :	TRAVYS, SA, Yverdon
Véhicules impliqués :	Automotrice Be 4/4 n°2 Voiture de commande BDT n°53
Lieu :	Baulmes (VD)
Date et heure :	2 octobre 2015, 8h28

Enquête

L'accident s'est produit le 2 octobre 2015 à 8h28. L'annonce de l'accident est parvenue au service suisse d'enquête de sécurité SESE à 8h53. L'enquête a été ouverte le jour même par le SESE en collaboration avec la police cantonale vaudoise.

Les éléments importants de l'enquête ont été les constatations effectuées sur le lieu de l'accident, l'audition des personnes impliquées, l'observation des vidéo-surveillance de la gare de Sainte-Croix (Ste-Croix) et du compartiment voyageurs de la voiture de commande BDT n°53, l'analyse de la bande tachygraphique de l'automotrice Be 4/4 n°2, l'écoute des conversations radio, l'étude des schémas électriques et pneumatiques des véhicules, les essais en ligne du 3 novembre 2015 avec l'automotrice Be 4/4 n°1 et la voiture de commande Bt n°51 ainsi que le contrôle de fonctionnement de composants clés des systèmes de freinage et de sécurité de l'automotrice et de la voiture de commande.

Présentation succincte

Le vendredi 2 octobre 2015 à 8h28, le train de matériel vide TRAVYS 8008 formé de la voiture de commande BDT n°53 et de l'automotrice Be 4/4 n°2 est parti en dérive au point kilométrique 23.670 peu après la gare de Ste-Croix sur une ligne présentant des déclivités jusqu'à 44‰ et a déraillé en pleine voie, dans une courbe à gauche, peu après le point kilométrique 18.000 entre les gares de Trois-Villes et Six-Fontaines.

Le mécanicien a sauté du train alors que la vitesse atteignait 30 à 40 km/h. Il a été contusionné.

La voiture de commande, en tête du convoi, s'est couchée sur les rails après avoir arraché deux pylônes de la ligne de contact et a fini sa course en contre bas de la ligne environ 150 m après le déraillement. L'automotrice a déraillé des quatre essieux et s'est encastrée dans un pylône de la ligne de contact vers le point kilométrique 17.900.

Cause

Le train 8008 est parti en dérive, car l'effort du frein automatique agissant sur le train a, pendant les deux arrêts d'urgence, diminué, suite à diverses manipulations inappropriées de façon telle que l'effort de freinage nécessaire au maintien de l'immobilisation de la composition dans une pente de 40 ‰ n'était plus suffisant.

Ont contribué à l'évènement :

- la formation du mécanicien effectuée, sur ce type de véhicule, sans avoir la possibilité de pratiquer la conduite depuis la voiture de commande BDt n° 53 ;
- l'inexpérience du mécanicien sur les véhicules du train 8008 ;
- le retour immédiat du train 8008 au départ de Ste-Croix contrairement à l'ordre de service TRAVYS n° 10/2015 ce qui a mis le mécanicien sous la pression du temps ;
- les deux déclenchements intempestifs de l'appareil de sécurité dus à l'impossibilité de rappeler la marche rapide en appuyant sur la pédale de l'homme-mort de la BDt 53 ;
- des manipulations inadéquates pendant la recherche de panne lors des deux arrêts d'urgence après Ste-Croix dues au manque de connaissances techniques et de conscience de la situation ;
- l'efficacité restreinte du frein d'immobilisation de la voiture de commande ;
- la conception du système pneumatique de l'automotrice qui ne garantit pas l'alimentation en air comprimé de la composition lors d'un déclenchement du freinage d'urgence par l'appareil de sécurité et l'appareil d'arrêt automatique des trains.

Recommandations de sécurité

Avec le rapport intermédiaire, remis le 12 novembre 2015 à l'Office fédéral des transports (OFT), deux recommandations de sécurité ont été émises.

Avec le présent rapport, quatre autres recommandations de sécurité sont émises.

1. Faits établis

1.1 Situation avant l'évènement

1.1.1 Lieu de l'accident

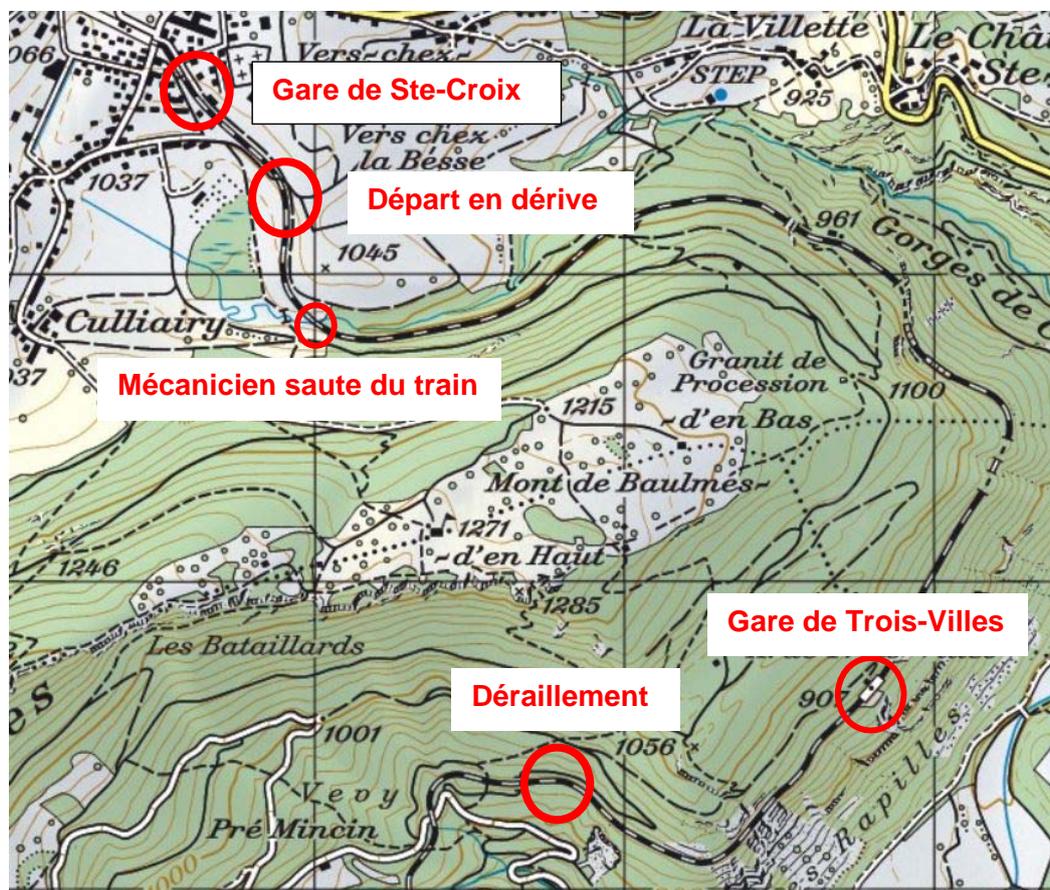


Illustration 1: vue d'ensemble du trajet de la dérive (carte reproduite avec l'autorisation de l'Office fédéral de la topologie Swisstopo (JA 150149)).

1.1.2 Description et spécificités de la ligne TRAVYS Yverdon-les-Bains - Ste-Croix

L'ordre de service TRAVYS N°10/2015 stipule :

"En ce qui concerne le matériel roulant, en semaine scolaire :

- *Le train 7 sera assuré avec matériel roulant de 2 caisses, matériel qui descendra au dépôt empruntant le sillon F6010 (départ de Ste-Croix à 8h28).*
- *Le train 109 sera assuré avec matériel roulant de 3 caisses, matériel qui descendra à Yverdon en assurant la course 10 (départ de Ste-Croix à 8h11)."*

Cet ordre de service était valable du lundi 20 avril au samedi 12 décembre 2015. Les chefs-circulation et le personnel de conduite avaient connaissance de cet ordre de service.

Pour l'introduction de la cadence semi-horaire, d'importants travaux d'infrastructure ont été effectués sur la ligne. A cet effet, le trafic ferroviaire a été totalement interrompu du lundi 6 au samedi 18 juillet 2015, période pendant laquelle le mécanicien du train 8008 effectuait sa formation.

1.1.3 Mécanicien du train 8008

Le mécanicien du train 8008 (mécanicien 8008) a obtenu son permis OFT catégorie B 100 pour la conduite de véhicules ferroviaires en 2011. De 2011 à 2014 il a travaillé comme mécanicien pour une entreprise de transport à voie normale et de 2014 à fin juin 2015 pour une entreprise de transport à voie étroite. Le 1^{er} juillet 2015 il a été engagé par TRAVYS.

Selon les tableaux de service, le 1^{er} octobre 2015, le mécanicien 8008 a effectué le tour de service 32 avec prise de service à 12h40 et fin de service à 21h30. Le 2 octobre, il aurait dû effectuer le tour de service 33 avec prise de service à 11h45 et fin de service à 18h20. Pour des raisons personnelles, il a demandé un changement de tour afin de terminer son service plus tôt. Le tour de service 36 avec prise de service à 06h30 et fin de service à 09h00 lui a été attribué.

1.1.4 Matériel roulant le jeudi 1^{er} octobre 2015, veille de l'accident

La composition formée de l'automotrice Be 4/4 n°2 côté amont et de la voiture de commande BDt n°53 côté aval a effectué le train régional 7 Yverdon - Ste-Croix et le train de service 8008 Ste-Croix - Yverdon. A l'arrivée à Yverdon à 8h37, la composition a été transférée sur la voie 4 où elle a été dissociée. La voiture de commande BDt n°53 a été garée et mise hors service. La mise hors service, telle que prescrite par TRAVYS, consiste à serrer le frein à main dans la cabine de conduite et à déclencher les 3 disjoncteurs magnétothermiques marqués d'un point blanc dans l'armoire désignée "AK" (illustration 5), placée dans le compartiment fourgon, au dos du siège de mécanicien. L'automotrice Be 4/4 n°2 a, ensuite, effectué diverses prestations pendant la journée.

En fin d'après-midi, la composition Be 4/4 n°2 et BDt n°53 a été reformée pour assurer les trains 7 et 8008 du lendemain. Cette prestation a été effectuée par un agent d'entretien du dépôt, autorisé à la conduite des véhicules moteurs, aidé d'un collègue. A cette occasion, le frein à main de la BDt n°53 a été desserré. Aucune action n'a été effectuée sur les disjoncteurs magnétothermiques dans l'armoire "AK" de la BDt n°53.

1.1.5 Vendredi 2 octobre 2015

Conformément à la consigne du tour 36, le mécanicien 8008 a pris son service à 6h30. Il s'est rendu sur la composition garée sur la voie 4, prévue pour le train 7, et a procédé à sa mise en service. L'essai de l'appareil d'arrêt automatique des trains a été effectué dans l'automotrice et le résultat noté dans le carnet de contrôle. Le trajet Yverdon - Ste-Croix s'est déroulé sans encombre. A 7h40, le mécanicien a reçu par radio de la part du chef-circulation de Ste-Croix l'information que le train repartirait tout de suite, laquelle a été confirmée par le mécanicien (annexe 3). Le train 7 est arrivé à Ste-Croix à 7h41. Une fois les voyageurs descendus du train, vers 7h43, le mécanicien a manœuvré la composition d'une trentaine de mètres en direction du cul-de-sac puis il a effectué le changement de cabine pour le train 8008.

1.2 Déroutement de l'évènement

La gestion du trafic ayant décidé de ne pas attendre l'arrivée du train 109 à Ste-Croix avant d'autoriser le retour du train 8008 et d'effectuer le croisement de ces trains à la gare de Trois-Ville, le mécanicien 8008 a reçu l'autorisation de départ de Ste-Croix lorsqu'il effectuait le changement de cabine.

Le train 8008 est parti de la gare de Ste-Croix à 7h46 sans que l'essai de l'appareil d'arrêt automatique des trains de la voiture de commande BDt n°53 ne soit effectué. Peu après le départ, le mécanicien 8008 a effectué avec succès l'essai d'efficacité du frein. Quelques secondes plus tard, le frein d'urgence s'est déclenché et a provoqué l'arrêt du train à 7 heures 47 minutes et 20 secondes. L'arrière du convoi avait juste franchi le deuxième passage à niveau "Le Stade" au point kilométrique 23.935. Le mécanicien a constaté qu'il n'avait plus d'air à sa composition, que le bourdonneur de l'appareil de sécurité retentissait en permanence lorsque la poignée des inverseurs était sur la position avant et que la lampe-témoin rouge du contrôle de la fermeture des portes n'était pas allumée. Il n'a pas pu déterminer la cause du freinage d'urgence. Il a demandé à la gestion du trafic de pouvoir retourner à Ste-Croix. Cette requête a été refusée, car, pour l'exploitation, il était préférable de croiser à Trois-Villes. Pendant qu'il recherchait la cause de la panne, il a appelé un collègue du dépôt qui lui a dit par radio de réarmer l'appareil de sécurité en pressant simultanément sur la pédale de l'homme-mort et sur le bouton poussoir des sablières. Le mécanicien du train 109, qui était à l'écoute de la radio, lui a également conseillé de contrôler que toutes les portes du train soient bien fermées.

Lors de son audition par la police vaudoise le 2 octobre et son audition par le SESE le 29 octobre 2015, le mécanicien 8008 n'a pas été en mesure d'énumérer, de façon chronologique, les actions qu'il a entreprises lors de la recherche de la cause du freinage d'urgence.

Selon ses déclarations, il a mis hors service la cabine de conduite de la voiture de commande, puis la remise en service: la panne était toujours présente. Après plusieurs essais, ne trouvant pas la cause de la panne, il a décidé d'effectuer un "reset"¹. Pour ce faire, il a une nouvelle fois mis hors service le poste de conduite de la voiture de commande puis il s'est rendu sur l'automotrice, a fermé les robinets des réservoirs principaux et déclenché les batteries. Après deux minutes environ, il a réenclenché les batteries et rouvert les robinets des réservoirs principaux de l'automotrice puis il a remis le poste de conduite de la voiture de commande en service. Tout était redevenu normal.

Le mécanicien 8008 a remis son train en mouvement à 8 heures 9 minutes et 20 secondes. Quelques dizaines de mètres plus loin, le bourdonneur a retenti et le freinage d'urgence s'est déclenché. Le convoi s'est arrêté à 8 heures 10 minutes. Pour le mécanicien 8008, la situation était identique à celle de l'arrêt précédent: le bourdonneur retentissait de façon continue et le train n'avait plus d'air.

Lors de ce deuxième arrêt, le mécanicien 8008 n'a pas été en mesure d'expliquer la chronologie des actions ou manipulations entreprises entre l'arrêt du train à 8h10 et le départ en dérive à 8h20.

A 8h20, le train 8008 s'est mis en mouvement alors que le mécanicien 8008 n'était pas assis à son poste de conduite. Selon ses déclarations, il a tenté de serrer le frein à main de la voiture de commande sans obtenir de résultat. Ne voyant pas de solution mais en étant conscient qu'il n'y avait aucun voyageur dans le train, il

¹ Reset: mise hors service complète du véhicule

a sauté du train par la porte gauche du compartiment fourgon de la voiture de commande. A ce moment, la vitesse du convoi était entre 30 et 40 km/h.

Le train a poursuivi sa dérive, franchi la gare de Trois-Villes à environ 65 km/h et déraillé au point kilométrique 17.950 à la vitesse de 85 km/h.

Après avoir sauté du train, le mécanicien 8008 a communiqué avec son téléphone portable la dérive de son train au chef-circulation au centre de gestion du trafic.

Par mesure d'urgence le centre de gestion du trafic a avisé le mécanicien du train 109 stationné à la gare de Trois-Villes, remis les signaux de la gare de Trois-Villes à l'arrêt et déclenché la ligne de contact.



Illustration 2: photographie du lieu de l'accident.

1.3 Dommages corporels

En sautant du train en marche, le mécanicien 8008 s'est légèrement blessé, contusions et écorchures, aux mains et aux jambes. Il n'a pas été hospitalisé.

1.4 Dommages matériels

1.4.1 Infrastructure

Sur le lieu du déraillement, deux pylônes de la ligne de contact ont été arrachés et un troisième fortement déformé. Sur une distance de 100 m environ, les traverses métalliques et la voie ont été endommagées. Sous l'automotrice, le ballast a été pollué par de l'huile de transformateur.

1.4.2 Matériel roulant

1.4.2.1 Automotrice Be 4/4 n°2

La partie frontale avant et la paroi latérale droite ont subi des dégâts importants. L'attelage avant, les bogies, les équipements placés sous le châssis et les équipements des cabines de conduites et armoires de composants électromécaniques ont également été endommagés. Le circuit d'huile de réfrigération du transformateur placé sous la caisse a été partiellement arraché. Le coffre à batterie et la batterie ont été détruits.

1.4.2.2 Voiture de commande BDt n°53

L'ensemble de la caisse aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur a subi d'importants dégâts. Les chasse-corps et chasse-neige ainsi que les crochets d'attelage ont été arrachés. Le coffre à batterie et la batterie ont été détruits. Le châssis des bogies et les organes de roulement ont été endommagés.

1.4.3 Tiers

La commune de Baulmes a subi une pollution.

1.4.4 Atteinte à l'environnement

La fuite d'huile du transformateur de l'automotrice Be 4/4 n°2 a provoqué une pollution dans la zone de captation des eaux de la commune de Baulmes. La zone polluée a été décontaminée par les spécialistes du corps des sapeurs-pompiers de la ville d'Yverdon-les-Bains.

1.5 Incendie

Aucun incendie ne s'est déclaré.

1.6 Personnes impliquées

1.6.1 Personnel de l'entreprise ferroviaire

1.6.1.1 Mécanicien train 8008

Mécanicien TRAVYS, année 1981.

Permis OFT B100 émis en 2009.

Examen d'extension théorique et pratique TRAVYS, 31 juillet 2015, examiné sur le trajet Yverdon - Ste-Croix - Yverdon avec une rame GTW.

Autorisé sur les véhicules TRAVYS : GTW Be 2/6 2000-2001, Be 4/4 n°1-2, Bt n°51 et n°55, BDt n°53.

1.6.1.1.1 Examen psychologique d'aptitude

Lorsque le mécanicien a passé l'examen d'aptitude psychologique pour les personnes exerçant des activités déterminantes pour la sécurité dans le domaine ferroviaire, en vue de l'obtention de son permis, la directive OFT datée du 1^{er} janvier 2006 avait cours. Cette directive mentionnait dans le chapitre des règles d'évaluation les trois catégories suivantes à investiguer et évaluer:

- l'intelligence et la mémoire;
- le fonctionnement psychomoteur;
- la personnalité.

L'aptitude signifie que les exigences psychologiques minimales déterminantes pour la sécurité et décelables par un diagnostic psychologique sont remplies. Les exigences pour les diverses catégories de conducteurs sont plus ou moins élevées. La catégorie supérieure comprend chaque fois toutes les conditions de la catégorie inférieure

En 2011, le mécanicien a réussi l'examen psychologique pour la catégorie B soit une catégorie supérieure à la catégorie B100.

- 1.6.1.2 Mécanicien train 109
Mécanicien TRAVYS, année 1958.
Permis OFT B80 émis en 2011.
- 1.6.1.3 Chef de circulation
Chef de circulation (CC) TRAVYS, année 1965.
Examens de CC en 2012.
- 1.6.1.4 Agent d'entretien TRAVYS
Agent d'entretien TRAVYS, année 1981.
Permis OFT B80 émis en 2013.
- 1.6.2 Voyageurs
Aucun voyageur n'est impliqué dans cet évènement.

1.7 Entreprises concernées

- 1.7.1 Infrastructure
TRAVYS, Transports Vallée-de-Joux - Yverdon-les-Bains - Sainte-Croix SA.
- 1.7.2 Entreprise de transport
TRAVYS, Transports Vallée-de-Joux - Yverdon-les-Bains - Sainte-Croix SA.
- 1.7.3 Propriétaire des véhicules
TRAVYS, Transports Vallée-de-Joux - Yverdon-les-Bains - Sainte-Croix SA.
- 1.7.4 Tiers
Commune de Baulmes.

1.8 Constatations médicales

Aucun élément relatif à l'état de santé du personnel de l'entreprise ferroviaire n'a pu avoir une influence sur le déroulement de l'accident. Le contrôle de l'alcoolémie du mécanicien était négatif (0,00%).

A la demande du SESE, le mécanicien a été soumis à une expertise psychologique (chi. 1.17.4 et 2.3.6).

1.9 Véhicules ferroviaires

- 1.9.1 Formation des trains 7 et 8008
Ces trains étaient formés de la voiture de commande BDt n°53 côté aval et de l'automotrice Be 4/4 n°2 côté amont. Ces véhicules ne sont pas équipés de soufflets d'intercirculation. Afin d'interdire aux voyageurs le passage non sécurisé entre l'automotrice et la voiture de commande, les portes frontales de ces véhicules sont fermées avec la clé carrée et les passerelles d'intercirculation ne sont pas baissées.

1.9.2 Caractéristiques des véhicules des trains 7 et 8008

1.9.2.1 Automotrice Be 4/4 n°2

Année de mise en service	1981
Longueur	18,75 m
Tare	45 t
Poids-frein, frein pneumatique	43 t
Poids-frein, freins à main	2 x 7,5 t
Vitesse maximum	75 km/h

1.9.2.2 Voiture de commande BDt n°53

Année de mise en service	1968
Année de transformation	1991
Longueur	18,50 m
Tare	16 t
Poids-frein, frein pneumatique	16 t
Poids-frein, frein à main	1 x 7 t
Vitesse maximum	70 km/h

1.10 Constatations relatives aux véhicules ferroviaires

1.10.1 Etat des véhicules avant l'accident

L'automotrice Be 4/4 n°2 et la voiture de commande BDt n°53 étaient en état de fonctionner. Aucune annonce de panne ou de dérangement n'était ouverte dans les dossiers de ces véhicules.

1.10.2 Constatations sur le lieu de l'accident

1.10.2.1 Automotrice Be 4/4 n°2

- Les deux postes de conduite étaient règlementairement hors service.
- L'horloge du tachygraphe indiquait, à la minute près, l'heure locale.
- Tous les manomètres de la table de mécanicien indiquaient zéro. Il s'agit des manomètres des réservoirs principaux, de la conduite générale et des cylindres de frein.
- Tous les disjoncteurs magnétothermiques d'asservissement étaient enclenchés.
- Le carnet de contrôle du système d'arrêt automatique et de sécurité était rempli et attestait que les systèmes de sécurité avaient été contrôlés le 2 octobre. L'essai du dispositif de sécurité avait eu lieu depuis la cabine 2. Le relevé du compteur "annulation temporaire" mentionnait 863 et celui du compteur "hors service" 803.

- L'appareil d'arrêt automatique des trains était hors service (illustration 3). Le relevé du compteur "annulation temporaire" affichait 863; celui du compteur "hors service" affichait 804-5; le chiffre des unités était positionné entre 4 et 5.



Illustration 3: appareil automatique des trains hors service.

- Les deux pantographes étaient baissés et n'avaient aucune trace de choc ni de déformation.

1.10.2.2 Voiture de commande BDt n°53

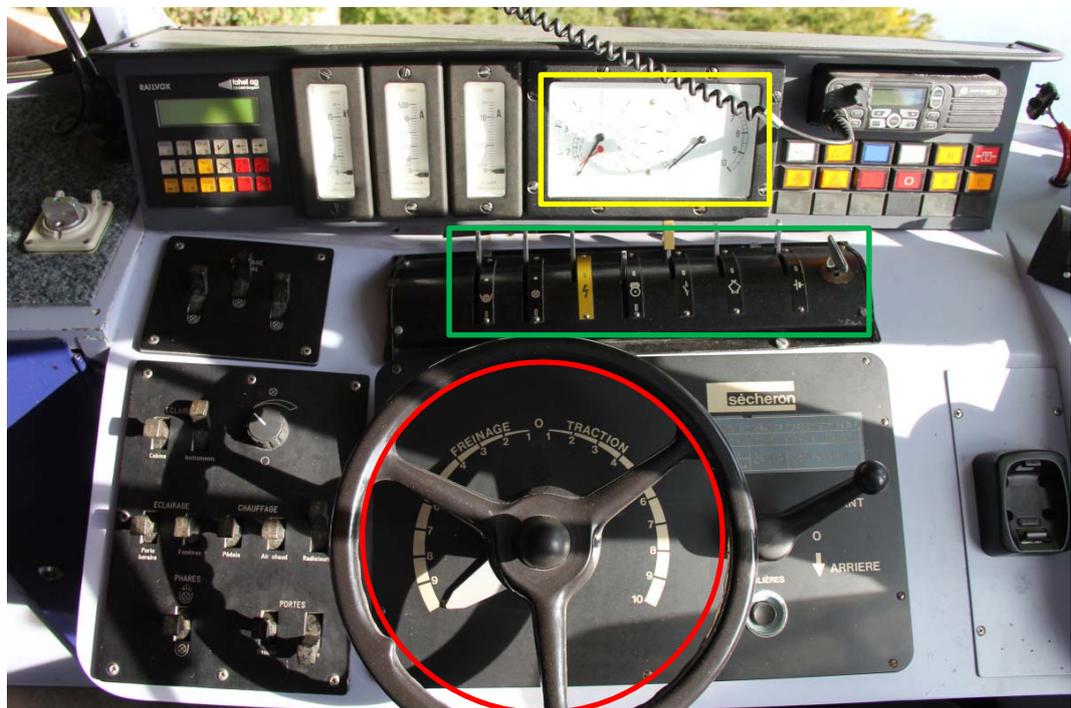


Illustration 4: table de mécanicien de la voiture de commande BDt n°53; cadre vert : coffret de commande ; cadre jaune : manomètres ; cercle rouge : combinateur.

- Le poste de conduite était en service (illustration 4). Sur le coffret de commande tous les leviers étaient enclenchés à l'exception de celui du compresseur qui était sur "0". Le volant du combinateur était sur frein électrique maximum. Le robinet du frein automatique était en position "freinage à fond" qui

correspond à une pression dans la conduite générale de 3,5 bars. Tous les manomètres indiquaient une pression zéro.

- Le sifflet était hors service car son robinet d'alimentation en air était fermé.
- Le coffret de l'appareil d'arrêt automatique des trains était en service. Le relevé du compteur "annulation temporaire" affichait 276 et celui du compteur "hors service" 343.
- Le carnet de contrôle de système d'arrêt automatique et de sécurité n'était pas rempli en date du 2 octobre 2015. Le dernier contrôle datait du 1er octobre 2015. Les relevés des compteurs "annulation temporaire" et "hors service" concordaient avec les relevés faits sur place.
- Dans l'armoire des disjoncteurs magnétothermiques (illustration 5), les disjoncteurs positions 127.5 "commande de chauffage", 112.1 "mise en parallèle des batteries", 71.1 "tension nulle", 127.8 "tachygraphe", 127.9 "anti-glissement" et 460 "vidéo" étaient enclenchés. Les disjoncteurs positions 110 "batteries", 310.3 "lumières compartiment", 310.1 "phares", 127.1 "radio", 41.5 "chauffage cabine" et 352 "railvox" étaient déclenchés.



Illustration 5: armoire "AK" des disjoncteurs magnétothermiques d'asservissement; interrupteur vers le haut, le disjoncteur est enclenché, vers le bas, il est déclenché.

- Toutes les semelles de frein étaient en place et ne présentaient aucune trace de surchauffe.

1.10.3 Composants retirés pour contrôle de fonctionnement

1.10.3.1 Généralités

Le 5 octobre 2015, dans le cadre d'une inspection complémentaire, le SESE a retiré des véhicules accidentés les composants clés suivants afin de les analyser.

1.10.3.2 Automotrice Be 4/4 n°2

- Coffret LIX n° T 205.2 303 de l'appareil de sécurité.
- Distributeur de freins LST 107.
- Valve de sécurité de surcharge type WB BRZ 117.

1.10.3.3 Voiture de commande BDT n°53

- Distributeur de freins Charmille type WB EST 303.

Lors du démontage du distributeur, le réservoir auxiliaire, qui assure la réalimentation des cylindres de frein, était encore sous pression.

1.11 **Météo, état des rails**

Ciel dégagé, visibilité normale, rails secs.

1.12 **Installations ferroviaires**

La ligne Yverdon - Ste-Croix est une ligne à simple voie à écartement métrique. La tension d'alimentation de la ligne de contact est de 15000 volts, 16 $\frac{2}{3}$ hertz.

Les déclivités et les vitesses de ligne du parcours de dérive du train 8008 sont consignées à l'annexe 1.

1.13 **Systèmes de sécurité ferroviaire**

1.13.1 Infrastructure

La ligne Yverdon - Ste-Croix est équipée d'un block² de ligne Mauerhofer & Zuber.

Les systèmes de sécurité de l'infrastructure ont fonctionné normalement. Ils n'ont eu aucune influence sur le déroulement de l'évènement.

1.13.2 Matériel roulant

L'automotrice Be 4/4 n°2 et la voiture de commande BDt n°53 sont équipées de l'appareil d'arrêt automatique des trains inductif "Mauerhofer + Zuber". Le fonctionnement de l'appareil d'arrêt automatique des trains n'est pas en cause dans la dérive du train 8008.

Seule l'automotrice Be 4/4 n°2 dispose d'un appareil de sécurité type SAAS/ASEGA. Lorsque l'automotrice est télécommandée depuis une voiture de commande, l'appareil de sécurité de l'automotrice est en fonction. Le fonctionnement de l'appareil de sécurité est décrit au chiffre 1.17.7 ci-après.

Les deux arrêts d'urgence du train 8008, après le départ de Ste-Croix, ont été déclenchés par la fonction "marche rapide" de l'appareil de sécurité.

1.14 **Tachygraphe**

L'automotrice Be 4/4 n°2 est équipée d'un indicateur de vitesse "Hasler" RT 12 avec bande tachygraphique dans la cabine 2 et R 12 avec disque tachygraphique dans la cabine 1.

La voiture de commande BDt n°53 est équipée d'un indicateur de vitesse HASLER R12 avec disque tachygraphique.

L'analyse des données tachygraphiques (annexe 2, illustrations 6 à 8) permet de déterminer les éléments suivants dans la chronologie du déroulement de l'évènement :

- le train 7 quitte Yverdon à 7h05 et arrive à Ste-Croix à 7h41 ;

² Block: élément de l'appareil d'enclenchement servant à protéger au niveau technique les trains de ceux de la même direction ou de sens inverse.

- à 7 heure 46 minutes 20 secondes (07:46:20) le train 8008 part de Ste-Croix ;
- à 07:47:30, après avoir accéléré à 40 km/h, le train 8008 freine et s'immobilise environ 390 m après son départ ;
- à 08:09:00, le train 8008 repart, accélère à environ 30 km/h puis freine et s'immobilise à 08:10:00 après avoir parcouru environ 170 m, soit 560 m après le départ de Ste-Croix ;
- à 08:20:00, le train 8008 part en dérive ;
- à 08:22:40, le train 8008 atteint la vitesse de 35 km/h et aborde un secteur de déclivité plus faible variant entre 25 et 30‰ ;
- à 08:24:30, le convoi circule à la vitesse de 28 km/h et atteint un tronçon de voie avec une déclivité de 40‰ ;
- à 08:26:00, le convoi atteint la vitesse de 63 km/h et aborde un nouveau tronçon à déclivité réduite variant entre 25 et 30 ‰ ;
- à 08:27:30, le convoi franchit la gare de Trois-Villes, en palier, à la vitesse de 65 km/h et aborde un tronçon de voie avec une déclivité de 43‰ ;
- à 08:28:30, le convoi atteint la vitesse de 85 km/h et déraille dans une courbe à gauche peu après le point kilométrique 18.000.

1.15 Transmission

L'automotrice Be 4/4 n°2 et la voiture de commande BDt n°53 sont équipées d'une radio des trains type "Motorola". Le mécanicien disposait d'un téléphone portable. Les communications radio sont enregistrées. L'enregistrement des communications radio a été mis en sécurité par l'entreprise de transport. Une copie de la transcription de ces communications a été transmise au SESE.

Une transcription des communications radio relatives à la dérive du train 8008 est disponible à l'annexe 3.

1.16 Vidéo-surveillance

1.16.1 Vidéo-surveillance en gare de Ste-Croix

La vidéo montre qu'une fois le service voyageurs du train 7 terminé, la composition fait un mouvement en direction du cul-de-sac. Après le changement de cabine, on voit que l'éclairage frontal de la voiture de commande BDt n°53 est allumé.

1.16.2 Vidéo-surveillance de la voiture de commande BDt n°53

1.16.2.1 Séquences disponibles

Les enregistrements vidéo de la voiture de commande sont lacunaires. Seules trois séquences ont pu être visionnées :

- départ du train 8008 de Ste-Croix ;
- deuxième arrêt du train 8008 ;
- train 8008 en mouvement peu après le début de la dérive.

1.16.2.2 Heures de référence

Les heures relevées sur les enregistrements vidéo de la voiture de commande avancent de 5 minutes 30 secondes par rapport à l'heure enregistrée par le tachygraphe de l'automotrice Be 4/4 n°2.

1.16.2.3 Constatations en relation directe avec l'évènement

- La vidéo du deuxième arrêt du train 8008 montre que le mécanicien est entré dans le compartiment fourgon à 8 heures 19 minutes 41 secondes (08:19:41) et en est ressorti à 08:20:02. A 08:20:13 le mécanicien se déplace à l'extérieur sur la gauche de la voiture de commande en direction de l'automotrice Be 4/4 n°2.
- Entre 08:21:00 et 08:22:00 le mécanicien sort de la cabine de conduite et se rend à deux reprises vers l'armoire "AK" des disjoncteurs magnétothermiques.
- La dernière séquence, montre, à 08:27:07, le mécanicien se diriger vers l'armoire "AK" des disjoncteurs magnétothermiques. A 08:27:13 l'éclairage du compartiment voyageur de la voiture de commande s'éteint. A 08:27:16 le mécanicien retourne dans la cabine de conduite. A 08:28:04, le mécanicien passe de la cabine de conduite dans le compartiment fourgon. L'enregistrement vidéo est interrompu à 08:28:05.

1.17 Investigations complémentaires

1.17.1 Gestion du trafic

La gestion du trafic de la ligne Yverdon - Ste-Croix est généralement effectuée depuis le centre de télécommande d'Yverdon. Elle peut également être effectuée depuis la gare de Ste-Croix.

Contrairement à l'ordre de service TRAVYS 10/2015, qui prévoit le sillon F 6010 pour la marche du train 8008 (retour de la composition du train 7), le chef-circulation, à Ste-Croix, a opté pour le retour immédiat du train 8008 avec croisement du train 109 à la gare de Trois-Ville.

Cette façon de faire permet de disposer plus rapidement de l'automotrice du train 8008 pour le service marchandises.

1.17.2 Déroulement dans le temps de l'évènement

La référence temps pour le déroulement de l'évènement est l'heure enregistrée sur la bande tachygraphique de l'automotrice Be 4/4 n°2 (heures:minutes:secondes).

- 07:46:20: départ de Ste-Croix.
- 07:47:30: premier arrêt après le passage à niveau "le Stade".
- 08:09:00: nouveau départ.
- 08:10:00: deuxième arrêt.
- 08:20:00: départ en dérive.
- 08:28:30: déraillement du train 8008.

Le temps écoulé entre le premier arrêt et le départ suivant est de 21 minutes et 30 secondes. Le temps entre le deuxième arrêt et le début de la dérive est de 10 minutes. La dérive a duré 8 minutes et 30 secondes.

1.17.3 Formation et expérience du mécanicien 8008

1.17.3.1 Formation générale

Avant de se destiner au roulement, le "mécanicien 8008" avait obtenu un certificat d'employé de commerce avec maturité. Selon l'OCVM, l'obtention de la maturité donne accès à la formation de mécanicien B.

1.17.3.2 Déroulement de la formation initiale du mécanicien

En 2010, après une année de formation comme mécanicien catégorie B auprès des CFF, le mécanicien a échoué à l'examen théorique oral. Il a ensuite poursuivi sa formation chez SZU comme mécanicien de catégorie B100

1.17.3.3 Formation TRAVYS

La formation TRAVYS du mécanicien s'est déroulée entre le 2 et le 30 juillet 2015. Pendant cette période, la ligne a été fermée à tout trafic du 6 au 18 juillet 2015.

La formation a consisté pour l'essentiel à l'étude des dispositions d'exécution des prescriptions suisses de circulation des trains (DE-PCT) TRAVYS pour la ligne Yverdon - Ste Croix et de la connaissance des véhicules moteurs et voitures de commande engagés sur cette ligne.

Le 14 juillet 2015, le mécanicien a été instruit sur les automotrices Be 4/4 n°1 et n°2. Cette instruction s'est déroulée à l'arrêt et hors tension de ligne, car la ligne de contact était déclenchée à cause des travaux.

Les 20, 27, 28, 29 et 30 juillet, le mécanicien a effectué des tours de service de conduite en ligne. Pendant ces tours de service il était accompagné d'un mécanicien. Le 28 juillet il a été accompagné ponctuellement par l'expert OCVM.

Le 31 juillet 2015, le mécanicien a réussi l'examen d'extension théorique (écrit et oral) et pratique pour la ligne Yverdon - Ste-Croix.

1.17.3.4 Expérience

Du 1^{er} août 2015 au jour de l'accident, le mécanicien a effectué 41 tours de service selon la rotation normale, sans toutefois effectuer le tour 36. Pendant cette période, il a conduit les rames GTW Be 4/6 2000 - 2001 et la composition "3 caisses" formée de la voiture de commande Bt n°51 côté amont, l'automotrice Be 4/4 n°1 au milieu et la voiture de commande Bt n°55 côté aval. Il n'a jamais eu l'occasion de conduire la composition "2 caisses" formée de l'automotrice Be 4/4 n°2 et de la voiture de commande BDt n°53.

1.17.4 Expertise psychologique suite à l'accident

Conformément à l'article 34 de l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (OEIT), et les articles 12 al. 4 et 13 al. 3 de l'OASF respectivement la directive OFT concernant les examens d'aptitude médicale et son article 23 référant au contrôle de l'aptitude après un accident, le SESE a mandaté un psychologue-conseil OFT pour procéder à une expertise psychologique du mécanicien.

L'expertise met en exergue les deux aspects suivants:

- les exigences psychologiques, concernant l'intelligence et la pensée, ainsi que les aptitudes cognitives et psycho-réactives pour l'aptitude d'un mécanicien de la catégorie B100 sont pleinement remplies;
- Sur les cinq exigences requises, soit la stabilité émotionnelle, la volonté de respecter les règles, la sensibilité au risque, la maîtrise de soi et la gestion du stress, qui forment les conditions préalables de la personnalité, les trois exigences suivantes, la volonté de respecter les règles, la sensibilité au risque ainsi que la maîtrise de soi, ne sont pas atteintes.

Sur la base de cette expertise, le psychologue-conseil OFT a prononcé une incapacité de conduire.

Lors de la lecture du rapport, il est apparu qu'en ne considérant que les tests psychologiques standards de la catégorie de permis B100, le mécanicien remplissait

les exigences d'aptitude à la conduite. Après une analyse approfondie des conditions préalables de la personnalité le mécanicien ne remplissait plus les exigences requises. Trois des cinq domaines analysés n'étaient pas satisfaisants.

Afin de déterminer si le standard des exigences psychologiques pour un mécanicien de la catégorie B100 était encore adéquat, les résultats de l'expertise psychologique ont été soumis à un expert psychologue du SESE.

1.17.5 Evaluation des exigences psychologiques pour un mécanicien de catégorie B100 par l'expert psychologue du SESE

L'évaluation d'un examen psychologique (également examen psychologique extraordinaire) se fait selon les exigences de l'OCVM et de l'OAASF. Selon ces directives, il est nécessaire que toutes les conditions préalables de la personnalité doivent être remplies pour être déclaré apte.

Sur la base des résultats obtenus, l'expert confirme que les exigences psychiques, concernant l'intelligence et la pensée, ainsi que les aptitudes cognitives et psycho-réactives sont remplies.

Pour les conditions préalables de la personnalité, l'expert estime que, non pas trois, mais les cinq conditions ne sont pas remplies. Le comportement du mécanicien lors des recherches de la panne laisse apparaître une méconnaissance de la situation (situation awareness). Le mécanicien a agi de façon confuse et entrepris des actions sans avoir conscience de leurs conséquences.

Les recherches effectuées, auprès du service psychologique des CFF, sur les résultats des examens d'aptitude psychologiques lors de sa candidature comme mécanicien de la catégorie B en 2010, révèlent que les investigations effectuées en 2010 n'ont décelé aucune faiblesse dans le domaine des conditions préalables de la personnalité.

1.17.6 Etat de l'asservissement de l'automotrice et de la voiture de commande

1.17.6.1 Etat normal en service

Tous les disjoncteurs magnétothermiques des circuits d'asservissement sont enclenchés.

1.17.6.2 Etat sur les véhicules hors service pour une période prolongée

Par période prolongée, il faut comprendre une période allant de quelques heures à un ou plusieurs jours. Dans ces cas, trois disjoncteurs magnétothermiques doivent être déclenchés:

- pos. 110, batteries;
- pos. 112.1, mise en parallèle des batteries;
- pos. 127.1, asservissement.

Ces trois disjoncteurs sont identifiés par un point blanc. Ils sont déclenchés afin d'éviter la décharge précoce des batteries. Les autres disjoncteurs restent enclenchés.

1.17.6.3 Etat après l'accident

L'état des disjoncteurs magnétothermiques sont consignés au chiffre 1.10.

1.17.6.4 Etat au départ des trains 7 et 8008

Au départ de Ste-Croix, le mécanicien 8008 a pu mettre le poste de conduite de la voiture de commande BDt n°53 en service, enclencher l'éclairage frontal de la voiture de commande, et démarrer son train. Du départ de Ste-Croix au début de la

dérive, le relais à tension nulle et l'appareil de sécurité étaient actifs, le tachygraphe, la radio et la vidéo-surveillance de la voiture de commande BDt n°53 fonctionnaient. Pour cela, il fallait que les disjoncteurs magnétothermiques suivants soient enclenchés :

- pos. 112.1, mise en parallèle des batteries ;
- pos. 127.1, asservissement ;
- pos. 310.1, phares ;
- pos. 127.3, appareil de sécurité ;
- pos. 127.4, radio ;
- pos. 71.1, tension nulle ;
- pos. 127.8, tachygraphe ;
- pos. 460, vidéo.

1.17.7 Appareil de sécurité SAAS/ASEGA

L'appareil de sécurité des automotrices Be 4/4 n°1 et n°2 TRAVYS gère les fonctions suivantes :

- marche rapide ou fonction "homme-mort" ;
- par le biais de relais additionnels, met en action la marche rapide lorsque des portes sont ouvertes ;
- marche lente ou fonction "vigilance".

1.17.7.1 Marche rapide

La marche rapide est activée lorsque le mécanicien cesse d'appuyer sur la pédale de l'homme-mort. Dès cet instant, le cycle de la marche rapide entre en action :

- après un parcours de 50 m, le son continu du bourdonneur retentit ;
- après 50 autres mètres, l'arrêt d'urgence provoque le déclenchement du disjoncteur principal de l'automotrice et la vidange de la conduite générale. Sur ces automotrices la conduite d'alimentation se vide simultanément.

Tant que la marche rapide n'a pas déclenché le freinage d'urgence, elle peut être réarmée en appuyant de nouveau sur la pédale de l'homme-mort, une manipulation du combinateur ou du robinet du frein automatique. Lorsque la marche rapide a déclenché le freinage d'urgence, elle ne peut être désactivée que par la pression simultanée de la pédale de l'homme-mort et du bouton poussoir sablières.

La marche rapide se met en action lorsque le mécanicien cesse d'appuyer sur la pédale de l'homme-mort, qu'une porte d'accès s'ouvre ou s'entrouvre ou que la fonction marche lente n'est pas rappelée pendant un parcours supérieur à 600 mètres.

1.17.7.2 Marche lente

La marche lente est activée dès que le mécanicien appuie sur la pédale de l'homme-mort et que le véhicule est mis en mouvement. Elle contrôle la vigilance du mécanicien et fonctionne comme suit :

- dès son entrée en action, elle mesure la distance parcourue par le véhicule ;
- elle est réinitialisée ou repart à "zéro" lorsque le mécanicien effectue l'une ou l'autre des actions suivantes: lâcher un bref instant et appuyer de nouveau la

pédale de l'homme-mort, manipuler le combineur ou manipuler le robinet du frein automatique ;

- si, après un parcours d'environ 600 mètres, le mécanicien ne fait aucune des manipulations décrites ci-dessus, un bourdonneur émet un son intermittent et la marche rapide se met en action ;
- 50 m plus loin, si le mécanicien ne réarme pas la marche rapide, le freinage d'urgence est provoqué comme décrit au chiffre 1.17.7.1.

1.17.7.3 Contrôle de la fermeture des portes

Sur les véhicules de la génération des Be 4/4 n°1 et n°2 un dispositif de contrôle de la fermeture des portes est greffé sur l'appareil de sécurité. Ce dispositif met en action la marche rapide de l'appareil de sécurité dès qu'une porte d'accès aux véhicules du train n'est pas totalement fermée.

Dans ce cas, la marche rapide ne peut plus être désactivée ou réarmée par le mécanicien tant que les portes ne sont pas fermées. Simultanément, la lampe témoin rouge de contrôle de la fermeture des portes s'allume sur la table de mécanicien.

1.17.8 Prescriptions de freinage

Les PCT, R 300.5, "Préparation des trains" prescrivent au chiffre 4.7 "Assurer les trains immobilisés" les directives à suivre.

- Chiffre 4.7.1 Assurer contre la dérive : "*Les trains ou partie de train immobilisés doivent être assurés contre la dérive.*"
- chiffre 4.7.2 Poids-frein d'inertie au départ : "*Au départ du train, il faut disposer le plus possible de moyens de freinage indépendants du frein à air afin que le poids-frein d'inertie complet puisse être atteint. Le poids-frein d'inertie doit suffire à tout moment pour la déclivité réelle.*"
- Chiffre 4.7.3 Efficacité du frein automatique : "*Lorsque la réserve d'air ne peut pas être complétée, le frein automatique suffit pour assurer un train ou une partie de train jusqu'à une demi-heure. Par conséquent, les véhicules doivent être freinés à fond.*"
- Chiffre 4.7.4 Assurer avec des moyens de freinage indépendants du frein à air : "*Si un train s'arrête en pleine voie probablement plus d'une demi-heure, il doit être assuré avec des moyens de freinage indépendant du frein à air de façon à ce que le poids-frein d'inertie réduit et après deux heures le poids-frein d'inertie complet soit disponible pour les trains freinés à l'air comprimé.*"
- Chiffre 4.7.5 Poids-frein d'inertie réduit ou complet : "*La somme des moyens de freinage indépendant du frein à air doit s'élever à au moins 2/10 (poids-frein d'inertie réduit) ou au moins 5/10 (poids-frein d'inertie complet) du poids-frein nécessaire pour la déclivité déterminante et pour la vitesse de 10 km/h.*"

Pour le train 8008 du 2 octobre 2015 d'une masse totale de 60 t, le poids-frein d'inertie réduit est de 5,4 t et le poids-frein d'inertie complet de 12,6 t.

1.17.9 Tests en gare du 12 octobre 2015

Lors du test de l'appareil de sécurité de l'automotrice Be 4/4 n°1 en gare d'Yverdon, le SESE a constaté que le déclenchement du freinage d'urgence par la marche rapide provoquait la vidange de la conduite générale et simultanément la vidange

de la conduite d'alimentation. Dès cet instant, les manomètres de la conduite générale et des réservoirs principaux (conduite d'alimentation) indiquaient "zéro"; le frein de manœuvre et le sifflet de l'automotrice ne fonctionnaient plus.

Ces constatations ont fait l'objet du rapport intermédiaire SESE reg. n° 2015100201 et de la recommandation de sécurité n° 88.

1.17.10 Tests en ligne du 3 novembre 2015

Divers essais ont été effectués en gare d'Yverdon, de Ste-Croix et en ligne avec une composition formée de l'automotrice Be 4/4 n°1 et de la voiture de commande Bt n°51.

L'automotrice Be 4/4 n°1 est identique à l'automotrice Be 4/4 n°2. La voiture de commande Bt n°51 est légèrement différente de la voiture de commande BDt n°53. La position des véhicules était inversée par rapport au trains 7 et 8008 du 2 octobre, automotrice côté aval et voiture de commande côté amont. Néanmoins, le comportement de la composition Be 4/4 n°1 et Bt n°51 reste tout à fait comparable à celui des trains 7 et 8008 du 2 octobre.

Les essais ont donné les résultats suivants:

1.17.10.1 Décharge du frein de l'automotrice après un freinage d'urgence

Après un freinage d'urgence, le frein de l'automotrice ne peut pas être déchargé par l'action de la pédale de décharge.

Après un serrage "à fond" (abaissement de la conduite générale à 3,5 bars) le frein de l'automotrice peut être déchargé par l'action de la pédale de décharge. En plaçant ensuite le robinet de mécanicien en position freinage d'urgence, conduite générale à zéro, la pression aux cylindres de frein de l'automotrice est rétablie à la pression maximale de 5,4 bars.

1.17.10.2 Simulation d'une porte ouverte

Comme décrit au chiffre 1.17.7.3, lorsque le train est en mouvement, dès que l'on ouvre une porte d'accès au véhicule, une lampe témoin rouge s'allume sur la table de mécanicien et la marche rapide de l'appareil de sécurité de l'automotrice se met en action. Lors de cette simulation, l'appareil de sécurité a correctement fonctionné.

1.17.10.3 Immobilisation du train avec les freins à main en déclivité de 40‰

Sur une déclivité de 40‰, le poids-frein d'inertie complet défini par les PCT (R300.5, complément 1) pour une composition d'une masse de 60 t est de 12,6 t.

Selon les dispositions d'exécution des PCT TRAVYS, les automotrices Be 4/4 n°1 et n°2 disposent chacune de deux freins à main d'un poids-frein de 8,5 t chacun. La voiture de commande BDt n°53 disposait d'un frein à main d'un poids-frein de 7 t et la voiture de commande Bt n°51 d'un frein à main d'un poids-frein de 2 t. Selon TRAVYS, le poids-frein à main indiqué dans les dispositions d'exécution des PCT TRAVYS pour cette voiture de commande est erroné et devrait être de 8 t.

Les essais ont montré que le poids-frein des deux freins à main (2 x 8,5 t) de l'automotrice serrés ne suffisaient pas à maintenir la composition immobilisée. Ces constatations ont fait l'objet du rapport intermédiaire SESE reg. n° 2015100201 et de la recommandation de sécurité n° 89.

1.17.10.4 Action du frein électrique

Les automotrices Be 4/4 n°1 et n°2 sont équipées d'un frein électrique rhéostatique. L'efficacité de ce frein électrique diminue fortement lorsque la vitesse de l'automotrice tend vers zéro. Lorsque le disjoncteur principal de l'automotrice est

déclenché, ou que la caténaire est hors tension, le frein électrique ne fonctionne pas.

Lors de l'essai sur un tronçon avec une déclivité de 40‰, le combineur de la cabine de conduite desservie a été placé sur frein électrique position 5 alors que la composition était encore freinée avec le frein automatique. Après avoir lâché le frein automatique, la composition s'est mise en mouvement. Dès que la vitesse du convoi a atteint environ 10 km/h, le frein électrique est entré en action et a maintenu la vitesse du train entre 15 et 20 km/h.

1.17.10.5 Essai de dérive

Le but de cet essai était de déterminer à partir de quelle pression résiduelle dans les cylindres de frein de la composition, le train se mettait en mouvement.

Un départ de dérive semblable à celui du train 8008 du 2 octobre a été obtenu en appliquant, à l'aide du frein de manœuvre, une pression variant de 1 à 1,5 bars dans les cylindres de frein de l'automotrice, les freins de la voiture de commande étant totalement desserrés.

1.17.11 Contrôle du câblage des circuits d'asservissement

Le 20 novembre 2015, le SESE s'est entretenu avec l'agent d'entretien qui a reformé cette composition le 1^{er} octobre 2015. Lors de cet entretien, l'agent a déclaré qu'il avait lui-même constaté qu'avec les trois disjoncteurs magnétothermiques marqués d'un point blanc déclenchés, il était possible d'enclencher certaines fonctions de l'automotrice Be 4/4 depuis la cabine de conduite de la voiture de commande BDt. Sur la base de cette déclaration, le SESE a procédé à un contrôle du câblage de la voiture de commande BDt n°53 et de l'automotrice Be 4/4 n°2.

Ce contrôle a été effectué le 27 novembre 2015 par le SESE en collaboration avec TRAVYS. Le câblage de la voiture de commande BDt n°53 et de l'automotrice Be 4/4 n°2 est conforme aux schémas électriques. Aucune liaison "fantôme" n'a été détectée. L'isolation du câblage était en bon état.

1.17.12 Simulation de la dérive du train 8008

Sur la base des constatations faites lors des essais du 3 novembre 2015, le SESE a effectué une simulation de la dérive du train 8008. Les données de bases introduites dans la simulation ont été les suivantes :

- départ de la dérive: point kilométrique 23.500 ;
- fin de la dérive: point kilométrique 18.000 ;
- déclivités: selon le profil de la ligne ;
- masse du train: 62 t ;
- force de freinage résiduelle au début de la dérive: 16 kN ;
- force de freinage résiduelle à la fin de la dérive: 13,8 kN (-20%). Cette diminution linéaire de la force de freinage peut être le fait de l'échauffement des freins et/ou d'une fuite d'air aux cylindres de frein ;
- résistance au roulement et masses rotatives du train: 3,1 kN.

Le résultat de cette simulation est reproduit à l'annexe 4, illustration 8.

- 1.17.13 Contrôle de l'appareil de sécurité de l'automotrice Be 4/4 n°2 au banc d'essai
- Ce contrôle a été effectué le mercredi 6 janvier 2016 aux Ateliers BLS de Spiez. Le but principal était de déterminer la tension minimum de fonctionnement des relais électromécaniques du coffret LIX.
- Le résultat des mesures montre que les relais alimentés en 36 volts se sont déjà enclenchés avec une tension de 10 volts. Le relais alimenté en 12 volts s'est enclenché avec une tension de 5 volts. Ce résultat démontre que même avec une tension des circuits d'asservissement réduite, les relais commutent normalement.
- 1.17.14 Alimentation en air comprimé de l'automotrice
- Sur les automotrices Be 4/4 n°1 et n°2, lors d'un freinage d'urgence déclenché par le fonctionnement de l'appareil de sécurité ou l'appareil d'arrêt automatique des trains, la conduite générale et la conduite d'alimentation se vidangent complètement.
- Après analyse du schéma pneumatique, il a été constaté que l'électrovalve du robinet du frein automatique (électrovalve du robinet BV) n'existait pas sur ces véhicules mais était remplacée par l'électrovalve A14 implantée sur le tableau pneumatique immédiatement après les robinets des réservoirs principaux.
- De ce fait, lorsque qu'un freinage d'urgence est déclenché par un appareil de sécurité, la conduite d'alimentation ne peut pas être réalimentée.
- 1.17.15 Contrôle d'éléments de frein de l'automotrice Be 4/4 n°2 au banc d'essai
- Le distributeur de frein type LST 107, ainsi que la valve de sécurité de surcharge type WB BRZ 117 (Überladungsschutz mit Mindestdruckventil), ont été contrôlés sur le banc d'essai des Ateliers BLS d'Oberburg le mercredi 6 janvier 2016.
- 1.17.15.1 Distributeur de frein LST 107
- Le fonctionnement du distributeur est normal. Les mesures suivantes ont été effectuées :
- temps de remplissage après un freinage à fond et un desserrage par la pédale de décharge: 3 minutes ;
 - fonctions de freinage: en ordre, ne sont pas déterminantes dans le déroulement de l'accident ;
 - temps de remplissage au freinage pour un cylindre de frein de 4 litres: 4 secondes ;
 - temps de desserrage jusqu'à 0,4 bars: 8 secondes ;
 - étanchéité: perte de pression de 0,02 bars après 30 minutes.
- 1.17.15.2 Valve de sécurité de surcharge WB BRZ 117
- La valve de sécurité et de surcharge a deux fonctions. Lors du remplissage de la conduite générale, elle empêche la surcharge de la conduite générale et ainsi également une surcharge des réservoirs auxiliaires des freins. Lors de la vidange totale de la conduite générale (freinage d'urgence), elle empêche la vidange des cylindres de freins lorsque la pédale de décharge du frein est actionnée.
- Lorsque l'alimentation en air comprimé de l'automotrice est assurée, la valve de sécurité et de surcharge fonctionne correctement.

Lors d'un freinage d'urgence provoqué par un appareil de sécurité, l'électrovalve A14 interrompt la réalimentation en air comprimé de l'automotrice. La conduite d'alimentation se vidange graduellement par le robinet du frein automatique.

Dans ce cas, la pression du cylindre de frein qui est pilotée par la valve de sécurité et de surcharge diminue graduellement jusqu'à 1 bar. Ainsi, au lieu d'une pression de 3,7 bars, les cylindres de freins ne sont plus alimentés que par une pression d'environ 1 bar.

- 1.17.16 Contrôle du distributeur de frein de la voiture de commande BDt n°53 et du relais de pression

Le distributeur Charmille type WB EST 303 ainsi que le relais de pression ont été testés par l'entreprise FAC Technologies, à Genève. Ces appareils fonctionnaient correctement.

- 1.17.17 Contrôle du relais de sécurité des portes Pos. 184.

Ce relais fonctionnait correctement.

2. Analyse

2.1 Préambule

L'enquête n'a pas permis de déterminer la chronologie des manipulations effectuées sur la voiture de commande et l'automotrice lors de la recherche de panne pendant les deux arrêts survenus après le départ du train 8008 de Ste-Croix. Ainsi, il n'a pas été possible de reproduire ces manipulations et de constater leurs effets.

La cause de la dérive du train 8008 a été déterminée par l'analyse, les essais et le recoupement des éléments constatés lors de l'enquête.

2.2 Aspects techniques

2.2.1 Etat des véhicules avant la dérive

2.2.1.1 Etat général des véhicules

Les véhicules étaient en état de fonctionner et n'avaient pas de d'avis de réparation non traités ou en cours de traitement.

2.2.1.2 Etat des disjoncteurs magnétothermiques de l'automotrice et de la voiture de commande

A la prise de service le mécanicien a mis la composition du train 7 en service depuis l'automotrice Be 4/4 n°2; ensuite il a fait un contrôle de l'état de propreté du train. Il n'a pas contrôlé l'armoire "AK" de la voiture de commande BDt n°53 où se trouvaient les disjoncteurs magnétothermiques d'asservissement. Il est toutefois établi que deux des trois disjoncteurs marqués d'un point blanc, qui auraient dû être déclenchés lors du remisage de la composition, étaient enclenchés :

- le disjoncteur pos 112.1 mise en parallèle des batteries, qui était encore enclenché après l'accident ;
- le disjoncteur pos. 127.1 asservissement.

Sur la base des constatations faites sur la composition accidentée ainsi que les essais comparatifs effectués sur la composition Be 4/4 n°1 et voiture de commande Bt n°51 le 3 novembre 2015, tous les disjoncteurs magnétothermiques de la voiture de commande BDt n°53, à l'exception du disjoncteur pos. 110, "batteries", devaient être enclenchés, sans quoi il n'aurait pas été possible de mettre en service la cabine de la voiture de commande au départ de Ste-Croix.

2.2.1.3 Etat des véhicules après le fonctionnement de l'appareil de sécurité

Le disjoncteur principal de l'automotrice est déclenché et la conduite générale du frein automatique est vidée, ce qui provoque le freinage maximum du frein pneumatique. Sur les automotrice Be 4/4 n°1 et n°2, la conduite d'alimentation se vide également. Ceci n'est pas normal et génère les anomalies suivantes :

- le réservoir auxiliaire de l'automotrice n'est plus alimenté ;
- le frein de manœuvre de l'automotrice est inutilisable ;
- le sifflet de la voiture de commande est inutilisable.

Cette erreur de conception de l'automotrice a fait l'objet de la recommandation de sécurité n° 88 du rapport intermédiaire reg. 2015100201 du 12 novembre 2015.

Dans le déroulement de la dérive du train 8008, cette anomalie a pu avoir les conséquences suivantes :

- induire le mécanicien en erreur dans la recherche de la cause de l'arrêt d'urgence, car les manomètres de la conduite générale et de la conduite d'alimentation indiquant "zéro", le mécanicien a interprété ces informations et aussi déclaré qu'il n'avait plus d'air. Or en réalité, l'automotrice disposait encore d'air dans les réservoirs principaux ainsi que dans les réservoirs auxiliaires ;
- influencer négativement l'état de freinage du convoi (chiffre 2.1.3).

2.2.1.4 Interrupteur du compresseur

Après l'accident, l'interrupteur du compresseur était déclenché. L'enquête ne permet pas de déterminer depuis quand cet interrupteur était déclenché.

Lorsque l'interrupteur du compresseur est enclenché, l'automate du compresseur enclenche et déclenche automatiquement le compresseur de façon à maintenir la pression dans les réservoirs principaux entre 8 et 10 bars. Lorsqu'il est déclenché, le compresseur ne peut pas fonctionner et les réservoirs principaux ne sont plus réalimentés. Suivant la consommation d'air du train, la pression dans les réservoirs principaux baisse petit à petit. Lorsque la pression baisse en dessous de 5 bars, le fonctionnement correct du frein pneumatique n'est plus garanti.

Aucun indice ne permet de dire quelle était la pression dans les réservoirs principaux de l'automotrice au départ de la dérive.

2.2.2 Appareil de sécurité

2.2.2.1 Cause du fonctionnement de l'appareil de sécurité

Les faits relevés lors de l'enquête et l'étude des schémas électriques ont permis de déterminer que le fonctionnement de l'appareil de sécurité était dû à l'impossibilité de rappeler la marche rapide en appuyant sur la pédale de l'homme-mort de la BDt 53.

Etant donné les dommages importants subis par les véhicules lors du déraillement, il n'a pas été possible de déterminer l'endroit où la liaison entre la pédale de l'homme-mort de la voiture de commande et l'appareil de sécurité de l'automotrice était interrompue.

2.2.2.2 Séparation des fonctions appareil de sécurité et surveillance de la fermeture des portes

Sur les véhicules ferroviaires modernes, le contrôle de la fermeture des portes agit sur le blocage de l'effort de traction. Sur les automotrices Be 4/4 TRAVYS mises en service au début des années 1980, le contrôle des portes a été greffé sur le fonctionnement de la marche rapide de l'appareil de sécurité.

Le mixage d'un dispositif de sécurité et du dispositif de contrôle de fermeture des portes n'est pas judicieux et rend la recherche de panne compliquée.

2.2.3 Frein automatique

2.2.3.1 Effet de la vidange de la conduite d'alimentation

La vidange simultanée de la conduite d'alimentation lors de la vidange de la conduite générale par un dispositif de sécurité est une erreur de conception du véhicule.

Normalement, le robinet de mécanicien d'un poste de conduite est équipé d'une valve qui empêche la vidange de la conduite d'alimentation au travers du robinet de mécanicien. Les cabines de conduite des automotrices Be 4/4 n°1 et n°2 ne sont pas équipées de cette valve mais disposent d'une valve A14 placée en série

entre les réservoirs principaux et la conduite d'alimentation. Ainsi sur ces automotrices lorsque l'appareil de sécurité provoque la vidange de la conduite générale, la conduite d'alimentation se vide également par le robinet de mécanicien.

Pendant les deux arrêts provoqués par l'appareil de sécurité, le réservoir auxiliaire de l'automotrice n'a pas été réalimenté en air. Normalement, la réserve d'air des réservoirs principaux de l'automotrice suffit à réalimenter les réservoirs auxiliaires du frein à air pendant les 30 minutes où il n'est pas nécessaire d'assurer le train contre la dérive avec des moyens de freinages indépendants du frein à air, afin de compenser les pertes du système de frein. Sur les automotrices Be 4/4 n°1 et n°2, cette réalimentation ne peut pas se faire.

2.2.3.2 Etat des freins après le "reset"

Après un "reset", l'automotrice doit être remise en service. Après l'enclenchement du disjoncteur magnétothermique des batteries, le mécanicien a rouvert les robinets des réservoirs principaux de l'automotrice. Dès cet instant, la conduite d'alimentation a été alimentée à la pression résiduelle des réservoirs principaux. Le mécanicien s'est rendu ensuite dans la cabine de conduite de la voiture de commande et a mis le poste de conduite en service. Lors de cette opération, il n'a pas enclenché l'interrupteur du compresseur. Ce n'est qu'au moment où il a placé le robinet de mécanicien en position de marche que la conduite générale s'est remplie à 5 bars (ceci, pour autant que la pression des réservoirs principaux était encore supérieure à 5 bars) et que les réservoirs auxiliaires et de commande des distributeurs de l'automotrice et de la voiture de commande ont commencé à se remplir. En général, il faut compter environ trois minutes pour que les freins soient totalement fonctionnels.

2.2.3.3 Durée du déclenchement de l'automotrice avant le départ en dérive, réalimentation en air

Lorsque l'appareil de sécurité déclenche un freinage d'urgence, le disjoncteur de l'automotrice est déclenché simultanément. A partir de cet instant les circuits principaux (transformateur, moteurs de traction) et auxiliaires (compresseur, ventilation des moteurs de traction) ne sont plus alimentés.

Lors du premier freinage d'urgence après le départ de Ste-Croix, le train 8008 est resté immobilisé 21 minutes. Pour inhiber la panne, le mécanicien a effectué un "reset" sur l'automotrice Be 4/4 n°2. Sous pression du temps, il est vraisemblable que le mécanicien soit immédiatement reparti après avoir effectué le "reset", sans attendre que le frein automatique soit rempli.

Une minute à peine après être reparti, l'appareil de sécurité a de nouveau provoqué un freinage d'urgence. Le disjoncteur principal de l'automotrice a également été déclenché. Lors du deuxième arrêt, le train 8008 est resté immobilisé 10 minutes avant de partir en dérive.

Si l'on excepte la minute où l'automotrice a été enclenchée entre le premier et le deuxième freinage d'urgence, le train 8008 est resté 30 minutes sans être alimenté par la ligne de contact et de ce fait sans alimentation en air par le compresseur.

2.2.3.4 Epuisement du frein à air

Lorsqu'il n'est pas réalimenté, le frein à air s'épuise petit à petit. C'est aussi pour cette raison que les PCT (R300.5 chiffre 4.7.4) prescrivent qu'après une immobilisation en pleine voie, le train doit être assuré avec des moyens de freinage indépendants du frein à air (chiffre 1.17.8).

Cette prescription est établie pour le cas normal où la conduite d'alimentation reste à la même pression que les réservoirs principaux. Sur les automotrices Be 4/4 de TRAVYS où la conduite d'alimentation se vide en même temps que la conduite

générale, la réalimentation des réservoirs auxiliaires ne se fait pas sur l'automotrice.

Lors des deux arrêts provoqués par l'appareil de sécurité, le train 8008 est resté environ 30 minutes sans réalimentation du frein à air. De plus, il est vraisemblable qu'après le "reset" de l'automotrice, le mécanicien a mis le train en mouvement sans attendre que les réservoirs auxiliaires et de commande des distributeurs de freins de l'automotrice et de la voiture de commande soient remplis (chiffre 2.1.3.3).

Les considérations ci-dessus ont sans doute favorisé l'épuisement du frein à air.

2.2.3.5 Valve de sécurité de surcharge

La condition pour le fonctionnement correct de la valve de sécurité et de surcharge dépend d'une alimentation constante de l'automotrice en air comprimé.

Si l'alimentation constante n'est pas assurée, qu'un freinage d'urgence est déclenché par l'appareil de sécurité et que la pédale de décharge du frein est activée, la fonction initiale de la valve de sécurité et de surcharge de maintenir une pression de 3,7 bars aux cylindres de frein en cas de décharge du frein pneumatique n'est plus garantie.

2.2.3.6 Vidange du frein de la voiture de commande

La vidange manuelle du frein de la voiture de commande ne peut se faire que par le biais de la tirette de décharge accessible de l'extérieur au milieu gauche ou droite de la paroi latérale du véhicule. L'enquête a déterminé que le mécanicien s'est déplacé à l'extérieur de la voiture de commande à 8 heures 15 minutes. La dérive du train 8008 a démarré à 8 heures 20 minutes. Comme aucune trace d'échauffement due à un long freinage mécanique n'a été constatée sur les roues et les semelles de freins de la voiture de commande, il est vraisemblable que la voiture de commande n'était pas freinée pendant la dérive. Pour cela, la tirette de décharge a dû être activée.

2.2.4 Conditions pour la dérive

Le diagramme vitesse / chemin parcouru de la bande tachygraphique permet de déterminer que lors des deux freinages d'urgence du train 8008 provoqués par l'appareil de sécurité de l'automotrice Be 4/4 n°2, les freins du train fonctionnaient correctement.

Chaque véhicule disposant de son propre distributeur de frein, une seule action ou défektivité ne permettait pas la perte complète de l'effort de freinage de la composition. Pour que la composition puisse partir en dérive, il fallait obligatoirement que les deux conditions suivantes soient réalisées :

- le frein automatique de l'automotrice, mis en action par le deuxième freinage d'urgence, soit au moins partiellement, déchargé par la pédale de décharge (1.17.15.2) ;
- le frein de la voiture de commande soit vidangé, Pour cela, une action sur la tirette de décharge était nécessaire.

2.2.5 Poids-frein à main des véhicules.

Pour la déclivité déterminante de 40‰, le poids-frein d'inertie complet du train 8008 est de 12,6 t. Les essais en ligne du 3 novembre 2015 (chiffre 1.17.10.3) ont montré que même avec les deux freins à main de l'automotrice serrés, poids-frein de 2 fois 8,5 t soit 17 t, le train partait en dérive. Ce fait démontre que les poids-frein

inscrits pour les freins à main sont supérieurs à l'efficacité réelle de ces freins (recommandation de sécurité n° 89).

2.2.6 Départ en dérive du train 8008

Sur une déclivité de 40‰ une masse de 60 t génère, par la gravité, une force longitudinale de 24 kN qui agit sur le convoi en direction de la pente.

La simulation de la dérive (chiffre 1 17.12) a permis de déterminer qu'au départ de la dérive le train était encore soumis à une force de freinage d'environ 16 kN. Les 8 kN de différence entre la composante longitudinale de force due à la gravité et la force de freinage restante correspond vraisemblablement au couple de décollement nécessaire au démarrage du train.

2.3 Aspects d'exploitation

2.3.1 Marche du train 8008

L'ordre de service n°10/2015 prévoit que le train 7, arrivée prévue à Ste-Croix à 7h40, retourne au dépôt comme train 8008, dans le sillon du train F6010, départ de Ste-Croix à 8h28.

Selon les extraits des conversations radio, le chef-circulation de Ste-Croix a informé le mécanicien du train 7, peu avant son arrivée à Ste-Croix, que le retour du train 8008 se ferait de suite. Bien qu'ayant quitté cette annonce, le mécanicien des trains 7/8008 a tout de même avancé son train en direction du cul-de-sac, afin de laisser la place au train 109 à Ste-Croix. Lorsqu'il a effectué le changement de cabine, il a constaté que le signal de sortie de la gare de Ste-Croix était déjà à voie libre.

Ce changement a vraisemblablement mis le mécanicien 8008, qui conduisait pour la première fois la voiture de commande BDt n°53, sous la pression du temps.

2.3.2 Mesures prises par le centre de télécommande

A l'annonce de la dérive du train 8008, le centre de télécommande a agi de façon rapide et pertinente en informant par radio le mécanicien du train 109 arrêté à Trois-Villes, en remettant les signaux de la gare de Trois-Villes à l'arrêt et en déclenchant la ligne de contact.

2.4 Aspects humains

2.4.1 Formation du mécanicien

Le mécanicien 8008 a reçu la formation de mécanicien B100 en 2011. Lorsqu'il a été engagé par TRAVYS le 1^{er} juillet 2015, il disposait des connaissances de bases, mais il lui manquait la connaissance de ligne et des véhicules TRAVYS.

A cause de la fermeture totale de la ligne du 6 au 18 juillet 2015, l'instruction théorique sur les automotrices Be 4/4 et voitures de commande de cette génération n'a pu se faire qu'à l'arrêt. Ainsi, le mécanicien n'a pas eu l'occasion de pratiquer la conduite de ces véhicules lors du jour de formation. Il n'a bénéficié que de 5 jours de conduite avant son examen du 31 juillet 2015, réussi.

Ce temps de formation peut-être suffisant pour la conduite en toute sécurité de véhicules disposant d'une technologie moderne. Il est certainement trop court pour acquérir une connaissance approfondie de véhicules comme les automotrices Be 4/4 et la voiture de commande BDt n°53. Pour ce type de véhicules et leurs spécificités, un entraînement au dépannage devrait être inclus à la formation, ce qui n'a pas été le cas.

2.4.2 Connaissance du véhicule

Du 2 août au 1^{er} octobre 2015, le mécanicien a exclusivement conduit les rames Be 2/6 2000 - 2001 (véhicules modernes) et la composition "3 caisses" avec Be 4/4.

Le fait de conduire pour la première fois la voiture de commande BDt n°53, seule dans son genre, a certainement été un facteur d'insécurité dans la recherche de la panne du véhicule.

2.4.3 Appareil d'arrêt automatique des trains

Comme relevé au chiffre 1.10.2.2, l'essai de l'appareil d'arrêt automatique des trains n'a pas été effectué depuis la voiture de commande BDt n°53. Cet essai aurait dû être fait, soit lors de la préparation de la rame avant le départ du train 7 ou, au plus tard, lors du changement de cabine avant le départ du train 8008 à Ste-Croix. Cet oubli n'a eu aucune influence sur le déroulement de la dérive du train 8008. Cela montre toutefois que lors du changement de cabine à Ste-Croix, le mécanicien 8008 était sous la pression du temps.

2.4.4 Techniques de dépannage

Dans les déclarations que le mécanicien 8008 a faites lors de ses auditions, il n'a pas été en mesure de décrire avec précision les actions ou manipulations qu'il avait entreprises pour rechercher la cause des deux arrêts d'urgence.

Ses explications laissent transparaître qu'il a scrupuleusement effectué les manipulations apprises, sans pour autant cibler ses actions sur une recherche de panne déterminée. Pendant la deuxième panne, sous l'effet du stress, il a vraisemblablement effectué des manipulations non réfléchies qui ont favorisé le départ en dérive de la composition.

2.4.5 Travail sous pression du temps

Le mécanicien 8008 était conscient que le train 109 attendait à la gare de Trois-Ville. N'obtenant pas suffisamment d'informations utiles au dépannage de son train de la part du dépôt, de son collègue du train 109 et du centre de télécommande, il a par lui-même cherché à se dépanner, sans toutefois analyser ou réaliser les conséquences finales que ses manipulations pouvaient avoir. Des manipulations telles que la mise hors service de l'appareil d'arrêt automatique des trains de l'automotrice et du sifflet de la voiture de commande, ainsi que la décharge du frein de la voiture de commande le démontrent.

2.4.6 Aspects psychologiques

Entre l'expertise psychologique lors des examens d'admission en 2009 et l'expertise après l'évènement, une différence essentielle a été constatée dans l'appréciation des conditions préalables de la personnalité.

Dans le cadre des éléments recueillis et de la reconstitution du déroulement des évènements, des lacunes ont été constatées dans les aptitudes propres aux conditions préalables de la personnalité telles que la volonté de respecter les règles, la sensibilité au risque ainsi que la gestion du stress. Ces lacunes corroborent les faiblesses qui ont été mises en évidence par les psychologues-experts. Pour l'admission à la profession de mécanicien, une seule aptitude non remplie est rédhibitoire.

Malgré les moyens réalistes mis à disposition pour l'appréciation des conditions préalables de la personnalité, les pronostics émis restent sujets à une certaine incertitude.

2.4.7 Examens psychologiques pour mécaniciens de la catégorie B et B100

Les examens psychologiques subis par le mécanicien 8008 suite à l'accident mettent en exergue la contradiction suivante :

- l'examen psychologique pour la catégorie B100 est parfaitement réussi; avec ce résultat, le mécanicien est apte à la conduite ;
- l'examen des conditions préalables de la personnalité n'est pas réussi. Selon une appréciation du psychologue, qui a effectué l'examen trois des cinq critères ne sont pas remplis et pour le psychologue SESE, les cinq critères ne sont pas remplis. Sur la base de ce résultat le mécanicien 8008 a été déclaré inapte à la conduite par le psychologue examinateur.

L'examen psychologique est prescrit aux candidats mécanicien de la catégorie B, et B100 et B80. L'examen des conditions préalables de la personnalité est imposé à tous les candidats à l'obtention du permis OFT.

Le mécanicien 8008 disposait d'un permis de la catégorie B100. Pour l'obtenir il a dû satisfaire aux exigences requises des conditions préalables de la personnalité.

Lors de l'examen psychologique complémentaire demandé par le SESE suite à l'accident, des faiblesses dans les aptitudes psychologiques du mécanicien 8008 ont été détectées. Ces faiblesses auraient déjà dû être détectées lors du premier examen.

En outre, lors d'un changement d'employeur, aucun suivi du dossier personnel du mécanicien n'est assuré.

3. Conclusions

3.1 Faits établis

- Le mécanicien a été engagé par TRAVYS au 1^{er} juillet 2015. Pendant sa période de formation la ligne Yverdon - Ste Croix a été fermée à la circulation des trains du 6 au 18 juillet.
- Le mécanicien effectuait pour la première fois le tour de service 36 et conduisait pour la première fois la composition à "2 caisses" des trains 7 et 8008.
- Lors de la mise en service de l'automotrice Be 4/4 n°2 et de la voiture de commande BDt n°53 pour le train 7 à Yverdon, les disjoncteurs magnétothermiques de l'asservissement de la voiture de commande BDt n°53 n'ont pas été contrôlés.
- Lors d'un arrêt prolongé, les trois disjoncteurs magnétothermiques d'asservissement marqués d'un point blanc dans l'armoire "AK" de la voiture de commande BDt n°53 doivent être déclenchés. L'enquête a établi que seul le disjoncteur magnétothermique des batteries pos. 110 était déclenché. Les deux autres disjoncteurs marqués d'un point blanc, soit le disjoncteur d'asservissement pos. 127.1 et le disjoncteur pos. 112.1 mise en parallèle des batteries étaient à fortiori enclenchés.
- L'appareil de sécurité de l'automotrice a provoqué les deux arrêts intempestifs du train 8008 dus à une rupture de la liaison électrique entre la pédale et l'appareil de sécurité.
- Un arrêt d'urgence provoqué par l'appareil d'arrêt automatique des trains ou l'appareil de sécurité provoque la vidange de la conduite générale et simultanément celle de la conduite d'alimentation. Dès cet instant, le frein de manœuvre de l'automotrice et le sifflet de la voiture de commande sont inutilisables. La réalimentation en air de l'automotrice n'est plus assurée.
- La conception du système pneumatique de l'automotrice, vidange simultanée de la conduite d'alimentation et de la conduite générale, ne garantit pas un fonctionnement correct de la valve de sécurité et de surcharge dans toutes les circonstances.
- L'enquête n'a pas permis d'établir la chronologie des manipulations effectuées par le mécanicien pendant les deux arrêts provoqués par l'appareil de sécurité.
- Lors du dépannage, le mécanicien a agi de manière incompréhensible et a entrepris des actions qui laissent présumer qu'il a agi sans avoir conscience de leurs conséquences.
- L'appareil d'arrêt automatique des trains de l'automotrice a été mis hors service après le départ du train 7 d'Yverdon, pour une raison indéterminée.
- Au départ de la dérive, un effort de freinage d'environ 16 kN agissait encore sur le train. Le frein électrique n'était pas fonctionnel car le disjoncteur de l'automotrice était déclenché.
- Après l'accident, tous les interrupteurs du coffret de commande de la cabine de conduite de la voiture de commande BDt n°53 étaient enclenchés, à l'exception de l'interrupteur du compresseur qui était sur la position "zéro".
- Après l'accident, aucune trace d'un échauffement excessif n'étaient visibles sur les roues et les semelles de frein de la voiture de commande BDt n°53.

- Contrairement à l'ordre de service TRAVYS n° 10/2015, le train 8008 n'a pas emprunté le sillon F6010 (départ 8h28) mais est reparti directement à 7h46.
- L'examen des conditions préalables de la personnalité, effectué suite au présent accident, fait apparaître des divergences importantes par rapport au résultat de l'examen d'admission.

3.2 Causes

Le train 8008 est parti en dérive, car l'effort du frein automatique agissant sur le train a, pendant les deux arrêts d'urgence, diminué, suite à diverses manipulations inappropriées de façon telle que l'effort de freinage nécessaire au maintien de l'immobilisation de la composition dans une pente de 40 ‰ n'était plus suffisant.

Ont contribué à l'évènement :

- la formation du mécanicien effectuée, sur ce type de véhicule, sans avoir la possibilité de pratiquer la conduite depuis la voiture de commande BDt n° 53 ;
- l'inexpérience du mécanicien sur les véhicules du train 8008 ;
- le retour immédiat du train 8008 au départ de Ste-Croix contrairement à l'ordre de service TRAVYS n° 10/2015 ce qui a mis le mécanicien sous la pression du temps ;
- les deux déclenchements intempestifs de l'appareil de sécurité dus à l'impossibilité de rappeler la marche rapide en appuyant sur la pédale de l'homme-mort de la BDt 53 ;
- des manipulations inadéquates pendant la recherche de panne lors des deux arrêts d'urgence après Ste-Croix dues au manque de connaissances techniques et de conscience de la situation ;
- l'efficacité restreinte du frein d'immobilisation de la voiture de commande ;
- la conception erronée du système pneumatique de l'automotrice qui ne garantit pas l'alimentation en air comprimé de la composition lors d'un déclenchement du freinage d'urgence par l'appareil de sécurité et l'appareil d'arrêt automatique des trains.

4. Recommandations de sécurité et mesures prises après l'accident

Concernant les recommandations de sécurité, la législation suisse prévoit dans l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'accident dans le domaine des transports (OEIT) 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. »

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.

4.1 Recommandations de sécurité du rapport intermédiaire

Sur la base de constatations en cours d'enquête, le SESE a, conformément à l'article 44 de l'ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'accident dans le domaine des transports (OEIT), remis le 12 novembre 2015 à l'Office fédéral des transports (OFT) un rapport intermédiaire contenant les deux recommandations de sécurité suivantes :

Recommandation de sécurité n° 88

Le SESE recommande à l'OFT d'adapter l'installation pneumatique des véhicules moteurs TRAVYS et MBC concernés afin de garantir en tout temps la réalimentation de la conduite d'alimentation du véhicule lors d'un déclenchement provoqué par l'un ou l'autre système de sécurité. Par exemple, remplacer l'électrovalve A14 par des électrovalves de robinet BV.

Recommandation de sécurité n° 89

Le SESE recommande à l'OFT de faire procéder à un contrôle du poids-frein à main des automotrices de type Be 4/4 et des voitures de commande de type Bt afin de garantir que le poids-frein à main inscrit corresponde à la réalité, d'inscrire le poids-frein à main sur les voitures de commande et adapter, si besoin est, les DE-PCT des compagnies concernées.

4.2 Recommandations de sécurité découlant du présent rapport

4.2.1 Déficit de sécurité

Le vendredi 2 octobre 2015 à 8h28, le train de matériel vide TRAVYS 8008 formé de la voiture de commande BDt n°53 et de l'automotrice Be 4/4 n°2 est parti en dérive au point kilométrique 23.670 peu après la gare de Ste-Croix sur une ligne présentant des déclivités jusqu'à 44‰ et a déraillé en pleine voie, dans une courbe à gauche, peu après le point kilométrique 18.000 entre les gares de Trois-Villes et Six-Fontaines. Le mécanicien a sauté du train alors que la vitesse atteignait 30 à 40 km/h. Il a été contusionné. La voiture de commande, en tête du convoi, s'est couchée sur les rails après avoir arraché deux pylônes de la ligne de contact et a fini sa course en contre bas de la ligne environ 150 m après le déraillement. L'automotrice a déraillé des quatre essieux et s'est encastrée dans un pylône de la ligne de contact vers le point kilométrique 17.900.

Le train 8008 est parti en dérive, car l'effort du frein automatique agissant sur le train a, pendant les deux arrêts d'urgence, diminué, suite à diverses manipulations inappropriées de façon telle que l'effort de freinage nécessaire au maintien de l'immobilisation de la composition dans une pente de 40 ‰ n'était plus suffisant.

Ont contribué à l'évènement :

- la formation du mécanicien effectuée, sur ce type de véhicule, sans avoir la possibilité de pratiquer la conduite depuis la voiture de commande BDt n° 53 ;
- l'inexpérience du mécanicien sur les véhicules du train 8008 ;
- le retour immédiat du train 8008 au départ de Ste-Croix contrairement à l'ordre de service TRAVYS n° 10/2015 ce qui a mis le mécanicien sous la pression du temps ;
- les deux déclenchements intempestifs de l'appareil de sécurité dus à l'impossibilité de rappeler la marche rapide en appuyant sur la pédale de l'homme-mort de la BDt 53 ;
- des manipulations inadéquates pendant la recherche de panne lors des deux arrêts d'urgence après Ste-Croix dues au manque de connaissances techniques et de conscience de la situation ;
- l'efficacité restreinte du frein d'immobilisation de la voiture de commande ;
- la conception erronée du système pneumatique de l'automotrice qui ne garantit pas l'alimentation en air comprimé de la composition lors d'un déclenchement du freinage d'urgence par l'appareil de sécurité et l'appareil d'arrêt automatique des trains.

Les véhicules Be 4/4 n°1 et n°2 ainsi que voitures de commande, mis en service à la fin des années 1970, comportent des particularités techniques dans le domaine du frein automatique et du contrôle de la fermeture des portes. Les solutions adoptées sur ces véhicules diffèrent de celles normalement réalisées sur d'autres véhicules de cette époque. La méconnaissance de ces particularités par le personnel de conduite peut, en cas de panne de ces dispositifs, créer des situations à risque. Dans le domaine du frein automatique, une action de l'appareil de sécurité ou de l'appareil d'arrêt automatique des trains provoque la vidange de la conduite générale et simultanément de la conduite d'alimentation. Dans le domaine des dispositifs de surveillance, le contrôle de la fermeture des portes (fonction de contrôle) est greffé sur les circuits de l'appareil de sécurité (fonction sécurité).

4.2.1.1 Recommandation de sécurité n° 112

Le SESE recommande à l'OFT de prévoir, dans le cadre de la formation du personnel de conduite, des modules de formation spécifiques dans les domaines du frein et du contrôle des portes, tant que ces véhicules restent en service ou tant que ces particularités subsistent.

4.2.1.2 Recommandation de sécurité n° 113

Le SESE recommande à l'OFT de faire séparer les circuits de contrôle de la fermeture des portes des circuits de l'appareil de sécurité.

4.2.2 Déficit de sécurité

Les conditions préalables de la personnalité font partie des examens d'admission des mécaniciens catégorie B ou B100. Ainsi, comme le montre cette enquête, un mécanicien peut être déclaré apte à la conduite lors des examens d'admission et être déclaré inapte ultérieurement après avoir subi un examen complémentaire des conditions préalables de la personnalité. En outre, les pronostics émis dans l'appréciation des conditions préalables de la personnalité comportent un certain degré d'incertitude.

Une inaptitude dans le domaine des conditions préalables de la personnalité représente un risque de comportement inadéquat latent chez le mécanicien. Un accompagnement du mécanicien après l'examen pratique de conduite pourrait favoriser la détection de faiblesses dans le domaine des conditions préalables de la personnalité.

4.2.2.1 Recommandation de sécurité n° 114

Le SESE recommande à l'OFT d'étudier la possibilité d'affiner les exigences actuelles concernant les conditions préalables de la personnalité pour l'admission des mécaniciens de locomotive et de les intégrer dans l'examen psychologique prévu actuellement.

4.2.2.2 Recommandation de sécurité n° 115

Le SESE recommande à l'OFT d'étudier la possibilité de prescrire un accompagnement ponctuel des mécaniciens dans les premiers mois d'activités suivant la fin de sa formation.

4.3 Mesures prises depuis l'accident

Les mesures suivantes ont été mises en œuvre par TRAVYS :

4.3.1 Interdiction de circuler en formation "2 caisses"

Au vu du manque d'efficacité des freins d'immobilisation, l'engagement de la composition formée d'une automotrice type Be 4/4 et de la voiture de commande Bt n°51 est interdite jusqu'à nouvel ordre.

4.3.2 Ordre de service n° 21/2015

En ligne, la composition "3 caisses" doit absolument circuler avec la voiture de commande Bt n°55, qui dispose d'un frein à ressort.

4.3.3 Avis au personnel n° 81/2015

Cet avis au mécaniciens de trains rappelle et prescrit la façon de procéder lorsqu'il faut quitter la cabine de conduite.

4.3.4 Recommandations de sécurité n° 88 et 89

Ces deux recommandations de sécurité sont en phase de réalisation.

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

Berne, 30 mars 2017

Service suisse d'enquête de sécurité

Annexe 1

Déclivités et vitesses maxima autorisées sur le trajet de dérive du train 8008

Tronçon de voie	Déclivité	Vitesse
Départ de la dérive (km 23.620) – km 23.220	40 ‰	55 km/h
Km 23.220 – km 22.901	40 ‰	50 km/h
Km 22.901 – km 22.863	26 ‰	50 km/h
Km 22.863 – km 21.948	26 ‰	55 km/h
Km 21.948 – km 21.595	40 ‰	55 km/h
Km 21.595 – km 21.173	40 ‰	40 km/h
Km 21.173 – km 20.704	42 ‰	40 km/h
Km 20.704 – km 20.280	25 ‰	40 km/h
Km 20.280 – km 19.989	30 ‰	40 km/h
Km 19.989 – km 19.860	30 ‰	50 km/h
Km 19.860 – km 19.310	25 ‰	50 km/h
Km 19.310 – km 19.206, halte de Trois-Villes	0 ‰	50 km/h
Km 19.206 – km 18.981	32 ‰	50 km/h
Km 19.861 – km 18.700	37 ‰	50 km/h
Km 18.700 – km 18.414	37 ‰	45 km/h
Km 18.414 – lieu du déraillement, km 17.900	43 ‰	45 km/h

Annexe 2

Données tachygraphiques, vue d'ensemble

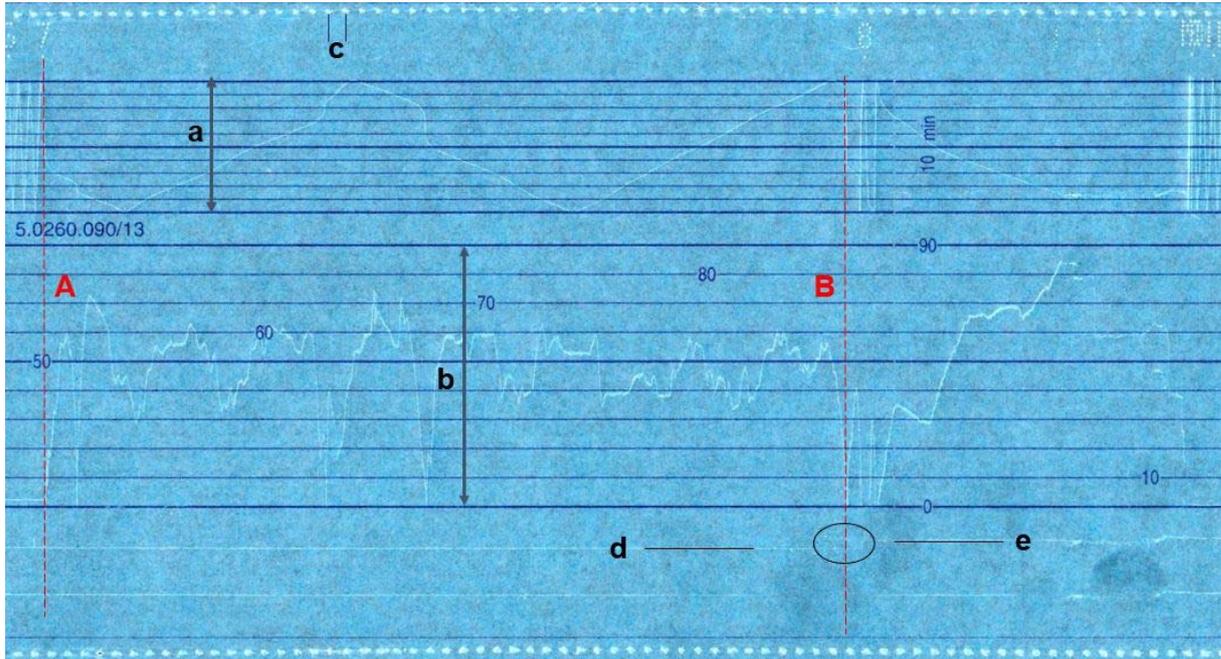


Illustration 6: bande tachygraphique des trains TRAVYS 7 et 8008 du 2 octobre 2015.

- A:** Départ d'Yverdon à 7h05.
B: Arrivée à Ste-Croix à 07h41.

Clés de lecture de la bande tachygraphique:

- a:** diagramme des temps : la distance a correspond à 10 minutes
b: diagramme de la vitesse : la distance entre deux lignes horizontales correspond à 10 km/h
c: avancement de la bande : l'espacement entre deux trous correspond à une distance de 500 m lorsque le train est en marche et une durée de 30 minutes lorsque le train est à l'arrêt
d: marque de l'appareil d'arrêt automatique des trains en position inactive (service normal)
e: marque de l'appareil d'arrêt automatique des trains en position active ou hors service.

Annexe 2

Données tachygraphiques, arrivée du train 7 à Ste-Croix et marche du train 8008

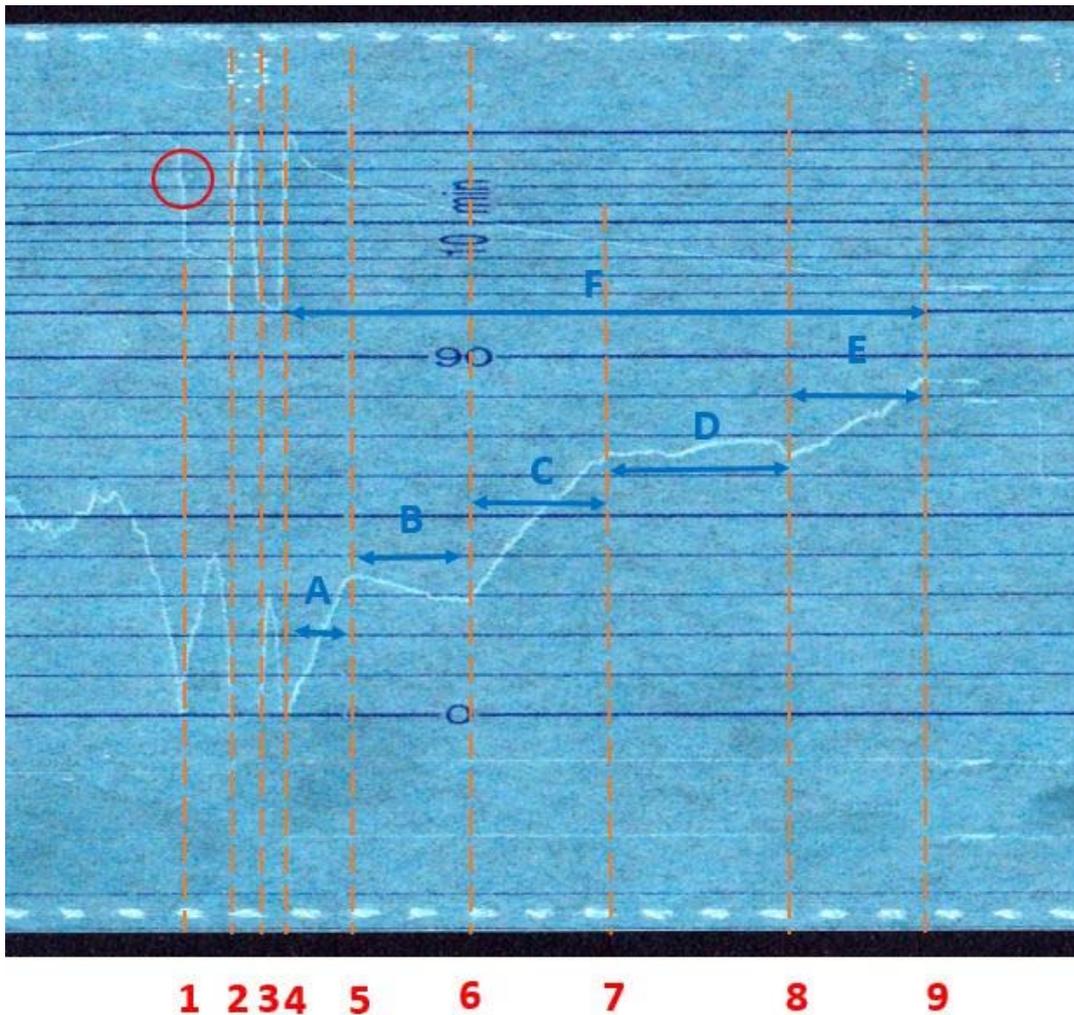


Illustration 7: bande tachygraphique train TRAVYS 8008 du 2 octobre 2015 ; sur cette figure, l'axe des abscisses a été multiplié par 2.

Cercle rouge : heure du mouvement de manœuvre à Ste-Croix: 07:42:30.

1^{ère} verticale : Ste-Croix.

2^{ème} verticale : 1^{er} arrêt en pleine voie, 390 m après le départ de Ste-Croix.

3^{ème} verticale : nouveau départ, suivi d'un 2^{ème} arrêt en pleine voie après un parcours de 170 m.

4^{ème} verticale : début de la dérive.

5^{ème} verticale : début réduction de vitesse sur une ligne toujours en pente.

6^{ème} verticale : reprise de la déclivité de 40‰.

7^{ème} verticale : début nouveau tronçon à déclivité réduite.

8^{ème} verticale : gare de Trois-Villes en palier; après, tronçon avec déclivités de 43‰.

9^{ème} verticale : crash km 17,900.

A : tronçon de voie avec déclivité de 40‰.

B : tronçon de voie avec déclivité de 25 à 30‰.

C : tronçon de voie avec déclivité de 40‰.

D : tronçon de voie avec déclivité de 25 à 30‰.

E : tronçon de voie avec déclivité de 43‰.

F : parcours de dérive de 5410 m.

Annexe 3

Transcription des conversations radio du déroulement de l'évènement

Les heures mentionnées ci-après retardent d'environ 2 minutes par rapport à l'heure du tachygraphe de l'automotrice Be 4/4 n°2.

Abréviation des personnes :

- Cc Ste-C : chef-circulation Ste-Croix
- Cc Yv : chef-circulation au centre de télécommande d'Yverdon-les-Bains
- Méc 8008 : mécanicien des trains 7 et 8008
- Méc 109 : mécanicien du train 109
- Agent Dp : agent de dépôt
- Ystec : Yverdon-Ste-Croix.

Heure	Personne	Communication
07h40	Cc Ste-C	Méc 8008, on repart tout de suite là.
	Méc 8008	OK d'accord, je me dépêche, merci.
07h56	Méc 8008	La Direction, de train 8008, répond.
	Cc Yv	Oui, la Direction écoute.
	Méc 8008	Juste après mon départ, j'ai eu une panne. Je dois rentrer à Ste-Croix, c'est possible? Répond.
07h57	Cc Yv	Tu n'arrives pas à aller à Trois-Ville? Il faudrait que tu puisses aller jusqu'à Trois-Villes et ça libérerait le block. Tu as quoi comme genre de panne?
	Méc 8008	Je ne sais pas, je n'ai plus d'air. Je ne peux plus partir là; je suis; je dois voir; je suis bloqué, je ne sais pas ce qui se passe ici.
	Cc Yv	Oui, d'accord.
	Méc 8008	Alors je dois voir, car ça sonne tout le temps et je ne sais pas pourquoi ça sonne. C'est quoi qui sonne? Répond.
	Cc Yv	Oui, je ne peux pas t'aider plus par contre.
07h58	Méc 109	Toutes les portes du fourgon derrière toi sont fermées, verrouillées?
	Méc 8008	Oui, c'est bien, mais je n'ai plus d'air. Ça m'a arrêté juste après le PN; ça a commencé à sonner après. Ça m'a planté, je ne sais pas pourquoi. Qu'est-ce qui s'est passé?
	Cc Yv	Alors en fait, tu es juste à la sortie de la gare de Ste-Croix?
	Méc 8008	Oui, après le 2 ^{ème} PN, c'est là que je suis, déjà dans la descente.
	Cc Yv	Mais si tu n'as plus d'air, tu dis que tu arriverais à monter à Ste-Croix, mais, par contre, tu n'arriverais pas à aller à Trois-Villes, c'est ça?
	Méc 8008	Je suis bloqué, je dois voir ça. Si ça sonne, je ne peux plus partir. Je dois voir si je trouve le problème dans le train.
	Cc Yv	Oui, d'accord, je te laisse chercher et puis, quand tu es prêt, tu me donnes des informations dès que tu peux.
	Méc 8008	Oui, à tout de suite
	Agent Dp	Méc 8008, mets ton inverseur en avant et appuie sur les sablières.

08h21	Appel	Direction de Ysetc répond.
	Cc Yv	Méc 109, il y a le train 8008 qui est parti d'après euh... d'après euh...
08h22	Appel	Direction Ystec répond
	CC Yv	Oui, il est parti méc 109! T'as du monde qui est sorti de ton train?
	Méc 109	Oui, j'ai du monde qui est dehors, juste devant les voies. Mais j'ai plus d'électricité là. Je n'ai plus de courant, je ne sais pas ce qui se passe.
	Cc Yv	Ecoute, il faut que tu rentres tes gens dans ton train, s'il te plaît, parce qu'on ne sait pas trop ce qui s'est passé avec le train 8008. Il dit que le train est parti, puis qu'il n'est pas dedans. Il faudrait rentrer les gens, les mettre à l'abri dans la gare.
	Méc 109	D'accord, je les fais rentrer dans le train.
08h23	Méc 109	Tu es à l'écoute Méc 8008?
	Cc Ste-C	Il faudrait regarder éventuellement par rapport au train qui descend, Cc Yv, si toi tu arriverais à faire quelque chose pour... donc là, visiblement, il roule trop vite et là, le train va arriver tout seul, mais je ne sais pas à quelle vitesse par contre.
08h24	Méc 109	Il est parti à la dérive?
	Cc Ste-C	Oui, il est à la dérive
<u>08h25</u>	Méc 109	Il vient de passer à Trois-Villes. Il a passé à toute vitesse
	Cc Yv	Oui, on l'a vu parce qu'on le suit à la télécommande.
08h43	Cc Yv	Oui, Méc 109, j'écoute. Est-ce que tu pourrais me dire à quelle vitesse le train en dérive a passé Trois-Villes?
	Méc 109	Oui, je pense qu'il devait passer à 70 km/h, 60 – 70 km/h j'estime. Il y avait un peu de fumée à l'arrière. Je pense qu'il y avait un frein serré, mais c'était pas suffisant. Répond
08h48	Agent dp	Retrouvé le train, ligne de contact arrachée.

Selon la bande tachygraphique de l'automotrice Be 4/4 n°2, le train 8008 a franchi la halte de Trois-Villes à 8 heures 27 minutes 30 secondes. L'enregistrement des conversations radio indique 8 heures 25 minutes à ce moment.

Annexe 4

Simulation de la dérive

Parcours	Point-km	Pente [%]	Calculations		Selon bande tachygraphique	
			V [m/s]	V [km/h]	V [km/h]	
0	23 500	40	0,0	0,0	0	
599	22 901	26	10,8	38,9	35	
1 552	21 948	40	7,3	26,2	29	
2 327	21 173	42	15,1	54,5	56	
2 796	20 704	25	18,9	68,2	66	
3 220	20 280	30	18,3	65,9	64	
3 640	19 860	25	18,9	68,0	68	
4 190	19 310	0	18,3	66,1	69	
4 294	19 206	32	16,8	60,3	65	
4 519	18 981	37	17,5	62,9	68	
5 086	18 414	43	20,7	74,6	77	
5 500	18 000		23,9	86,2	85	
					Masse du train [kg]	62 000
					Effort de freinage restant [N]	16 000
					Diminution de l'effort de freinage [%]	20

Distance (m)	Vitesse (km/h)
0	0,0
500	38,9
1500	26,2
2300	54,5
2800	68,2
3300	65,9
3700	68,0
4200	66,1
4500	60,3
4800	62,9
5100	68,0
5500	74,6
5500	86,2

Illustration 8: dérive du train 8008. Axe horizontal : distance parcourue en mètres.

L'allure de la courbe de la simulation de la dérive du train 8008 correspond à la courbe de vitesse lors de la dérive du train 8008 (illustration 7).