



Erwin Drabek 25.04.2007

---

Reg. Nr.: 05110101

## Rapport final

# du Service d'enquête sur les accidents des transports publics

sur le déraillement d'un Eaos posé sur bogies-transporteurs

du mardi 1<sup>er</sup> novembre 2005

à Six-Fontaines  
(ligne Travys Yverdon – Ste-Croix)

---

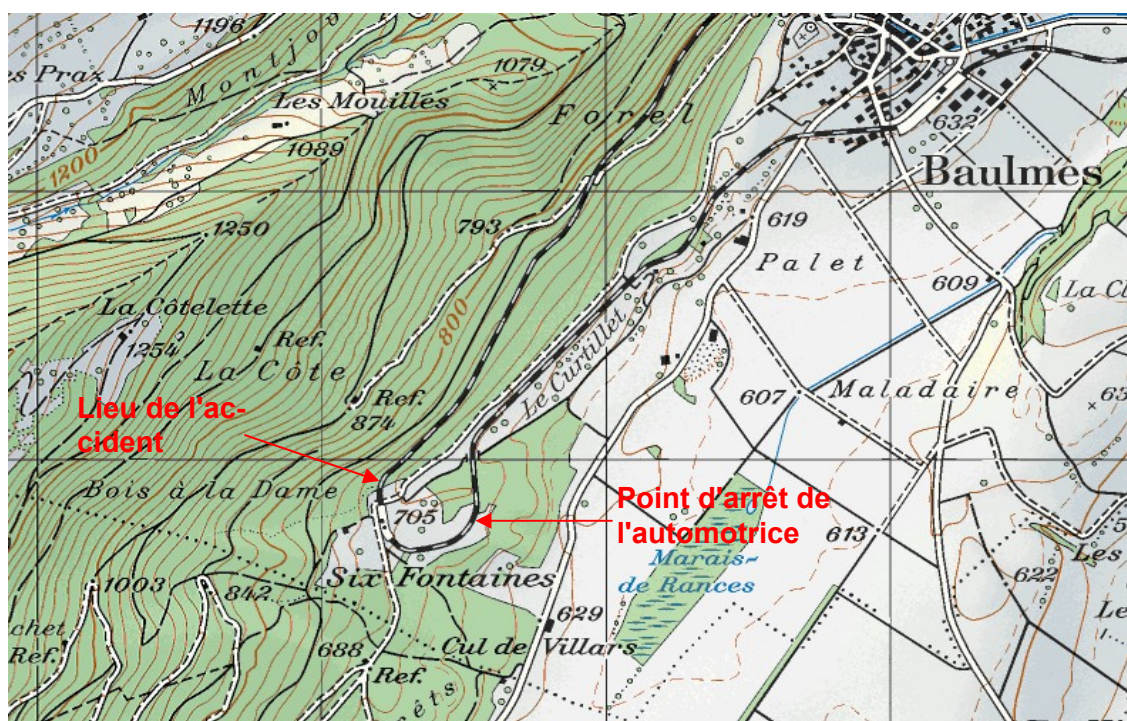
Le présent rapport a été exclusivement établi dans le but de prévenir les accidents survenant lors de l'exploitation de chemins de fer, d'installations de transport à câble et de bateaux. L'appréciation juridique des circonstances et des causes ne fait pas l'objet de la présente enquête selon l'art. 25 de l'ordonnance du 28 juin 2000 sur les déclarations et les enquêtes en cas d'accident ou d'incident grave survenant lors de l'exploitation des transports publics (OEATP, RS 742.161).

## 0 Généralités

### 0.1 Représentation succincte

Le mardi 1er novembre 2005 à 14h13, la charge remorquée du train 6020 Ste-Croix - Yverdon, un wagon Eaos chargé de billes de bois et posé sur bogies-transporteurs, s'est renversée dans la courbe d'entrée de la gare de Six-Fontaines. L'automotrice Be 4/4 2, en tête du convoi, s'est immobilisée environ 500m plus loin.

Aucune personne n'a été blessée dans cet accident, mais les dégâts matériels au wagon Eaos et aux bogies-transporteurs sont importants. Les installations de voie, de sécurité et la ligne de contact ont également été endommagées localement.



### 0.2 Enquête

Le service d'enquête SEA a été alarmé par la REGA à 15h47 et l'enquêteur auxiliaire Erwin Drabek s'est rendu sur place.

Après inspection des lieux et des véhicules le jour même, l'audition des témoins le lendemain au siège Travys à Yverdon suivi d'une nouvelle inspection de l'Eaos et des bogies-transporteurs à Six-Fontaines, un doute est apparu quant à l'efficacité du freinage de la charge remorquée.

L'accompagnement d'un transport similaire le mercredi 09.11.05, en présence l'instructeur traction, a permis de mieux comprendre ce qui a pu se passer lors de l'accident du train 6020 le 1<sup>er</sup> novembre. Cette course n'a toutefois pas permis de démontrer de façon représentative la cause de la perte d'adhérence de la motrice qui a conduit à l'accident.

Selon notre recommandation, consignée au point 4 du rapport intermédiaire SEA du

14.11.2005, Bombardier a procédé à l'expertise du rapport de freinage des bogies-transporteurs le 15.12.2005.

Sur la base des éléments d'enquête et de calculs simples, l'enquêteur SEA a pu démontrer que dans les conditions d'exploitation actuelles, lorsque le coefficient d'adhérence du véhicule moteur de tête diminue à l'extrême, la dérive du train est possible.

Le rapport d'enquête du SEA résume les résultats des examens effectués (art. 25 OEATP).

## 1 Faits établis

### 1.1 Situation avant les faits

Train 6020 formé à Sainte-Croix par l'automotrice Be 4/4 2 et le wagon Eaos 31 83 530 0 376-3, chargé de billes de bois, posé sur 4 bogies-transporteurs.

Poids de l'Eaos:  $22t + 45t = 67t$

Poids de la charge remorquée:  $67t + (2 \times 1,65) + (2 \times 1,7) = 73,7t$

Poids-frein des bogies-transporteurs placé sur 16t conformément aux prescriptions en vigueur, essai de frein effectué selon PCT.

### 1.2 Déroulement de la course

Le mécanicien du train 6020, informé par le mécanicien du train 19 (train voyageur arrivant à Ste-Croix juste avant le départ du train 6020) des mauvaises conditions d'adhérence, limite sa vitesse à 30 km/h et maintient cette vitesse avec difficulté, l'automotrice ayant tendance à glisser (blocage des roues), jusqu'à l'arrêt de Trois-Villes. Arrêt de service à Trois-Villes pour prendre un collaborateur du service de la voie. Poursuite de la marche à 20 – 25 km/h jusqu'au lieu-dit les "Murets" où les conditions d'adhérence deviennent de plus en plus critiques. Les roues de la motrice glissent et obligent le mécanicien à lâcher le frein électrique. Dès ce moment, le convoi prend de la vitesse et malgré un serrage à fond, puis un serrage d'urgence, le mécanicien perd le contrôle de la vitesse du train qui aborde la courbe d'entrée de Six-Fontaines, limitée à 45 km/h, à plus de 65 km/h (dernière vitesse lisible sur la bande tachygraphique avant le blocage des roues de l'automotrice). Le wagon Eaos se renverse, le timon d'accouplement entre l'automotrice et le premier bogie-transporteur se casse. L'automotrice poursuit sa course, roues bloquées, sur environ 500m, jusqu'au point kilométrique 14,030.

Le mécanicien prend ensuite les mesures nécessaires pour faire arrêter le train 20 qui suivait et annonce le déraillement au poste de télésurveillance.

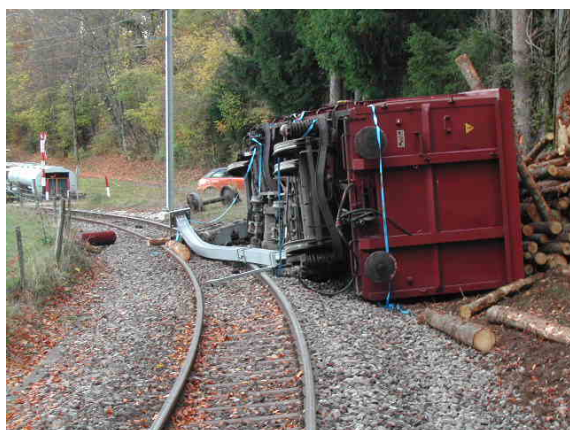


Photo 01



Photo 02





Photo 03



Photo 04

### 1.3 Dommages corporels

Personne n'a été blessé lors de cet accident

### 1.4 Dommages subis par le matériel roulant et l'infrastructure de l'entreprise ferroviaire

Le montant global des dégâts causés par cet accident se monte à CHF 200'000.- environ.

#### 1.4.1 Véhicules :

Automotrice Be 4/4

gros plats à tous les essieux, et dégâts au pantographe

Eaos :

dégâts aux bogies et à la caisse

Bogies-transporteurs:

dégâts aux châssis et aux éléments de frein



Photo 05



Photo 06

#### 1.4.2 Infrastructure :

Voie : traverses endommagées  
Installations de sécurité : appareillage au sol endommagé  
Ligne de contact : un poteau arraché et divers isolateurs sectionnés



Photo 07



Photo 08

#### 1.5 Dommages matériels causés à des tiers

6 sapins ont dû être abattus pour pouvoir relever le wagon Eaos

#### 1.6 Personnes impliquées

##### 1.6.1 Mécanicien

Fonction: Suppléant chef de service et mécanicien

##### 1.6.2 Employé de manœuvre

Fonction: Agent d'entretien et de agent de manœuvre

##### 1.6.3 Employé du service de la voie

#### 1.7 Véhicules ferroviaires

Propriétaire: Travys  
Composition du train: Be 4/4 2 et Eaos 31 83 530 0 376-3 sur bogies-transporteurs  
Bogies-transporteurs: 613A – 613B et 620A – 620B  
Rapport de freinage: Dispositif de freinage vide/chargé des bogies placé sur 16t  
Pression de la conduite générale des véhicules Travys: 4 bars

Appareils de frein déclenchés:

Frein de l'Eaos. Ceci est conforme aux prescriptions. La conduite générale de l'Eaos est utilisée pour alimenter en air les bogies-transporteurs placés sous les essieux 3 et 4 de l'Eaos. Afin de ne pas faire fonctionner inutilement le frein de l'Eaos (et aussi le compresseur de l'automotrice), le frein de ce dernier est paralysé. Le paralysage du frein de l'Eaos ne modifie en rien le rapport de freinage de la composition.

## 1.8 Véhicules routiers

Aucun.

## 1.9 Conditions météorologiques, état des rails

Première pluie après une longue période de beau temps.

Etat des rails très mauvais, nombreuses feuilles mortes mouillées



Photo 09

## 1.10 Système de sécurité ferroviaire

La ligne Yverdon – Ste-Croix est équipée d'un block Mauerhofer et Zuber à courant continu

## 1.11 Radio sol-train et radio de manœuvre

L'automotrice Be 4/4 2 est équipée de la radio sol-train Motorola MC 100 et de la radio de manœuvre Motorola GP 360.

## 1.12 Installations ferroviaires

Longue de 24 km, la ligne à voie métrique Yverdon – Ste-Croix est alimentée en 15 KV  $16\frac{2}{3}$  Hz. De Six-Fontaines (alt. 705m) à Ste-Croix (alt. 1066m) la ligne est en rampe de 42 à 44 ‰. Ce tronçon est en majeure partie en forêt et ses conditions d'adhérence sont souvent précaires.

## 1.13 Tachygraphe (annexe 1)

Les automotrices Be 4/4 1 et 2 sont équipées du tachygraphe Hasler R 12 et RT 12.

L'analyse de la bande tachygraphique montre que dans sa phase de dérive, le convoi a subi une accélération quasi constante de  $0,12 \text{ m/s}^2$ . La vitesse maximum du convoi ne peut par contre pas être mesurée, car les roues de l'automotrice se sont bloquées alors que le train roulait à 65 km/h et, dans ces conditions, la vitesse du tachygraphe étant "0" et il n'y a pas d'enregistrement sur la bande tachygraphique, ni sur le disque tachygraphique.

## 1.14 Analyse des véhicules ferroviaires

**Be 4/4 2** : gros méplats à toutes les roues et dégâts au pantographe

**Eaos** : à chaque extrémité du wagon les robinets pneumatiques reliant le frein des bogies-transporteurs étaient ouverts, ce qui est correct.

**Bogies-transporteurs** : trois heures après l'accident, les roues avaient encore une température que l'on peut estimer entre 35 et 40°C . A l'exception du bogie-transporteur de tête (613A), les roues ne présentaient aucune trace de méplat. Les roues du bogie-transporteur 613A avaient des traces de choc dues au déraillement. Les contrôles effectués par Bombardier sur les bogies-transporteurs incriminés dans l'accident ont démontré le bon fonctionnement des freins de ces bogies.

### **1.15 Résultat de l'expertise médicale**

Aucune analyse médicale n'a été faite.

### **1.16 Incendie**

L'accident n'a provoqué aucun incendie.

### **1.17 Environnement**

Après une longue période automnale sans pluie, une averse s'est abattue quelques minutes avant le passage du train 6020. Cette première pluie sur un parterre de feuilles mortes peut avoir créé des conditions d'adhérence particulièrement défavorables. Sur l'emplacement du déraillement aucune fuite d'huile ou de produit polluant n'a été constaté. Pour permettre l'accès des grues routières sur le lieu du relevage de l'Eaos, il a fallu abattre six sapins.

### **1.18 Examens particuliers**

#### **1.18.1 Accompagnement d'un train similaire au train 6020 du 01.11.2005 (annexe 2)**

Afin de mieux comprendre le fonctionnement et les réactions du frein sur un train formé d'une automotrice et d'un Eaos posé sur bogies-transporteurs, J. Clerc, instructeur traction, et l'enquêteur SEA soussigné ont accompagné, le 09.11.05, le train 6020 formé de la Be 4/4 1 et d'un Eaos chargé de bois (comme l'Eaos accidenté).

Lors de la course, nous avons demandé au mécanicien d'effectuer quelques serrages avec le frein automatique afin de nous rendre compte des effets du freinage et de la réaction du train. Ce jour là, les conditions d'adhérence étaient bonnes: temps sec. Nous avons également mesuré la température des roues des bogies-transporteurs.

En pente de 40 à 44 ‰ il nous a semblé, subjectivement, que la charge remorquée était freinée de façon insuffisante. La dispersion des températures mesurées entre les roues des bogies-transporteurs nous a paru excessive (36,6 ‰). Ces différences élevées pouvaient être un indice que les bogies-transporteurs ne freinaient pas ou plus d'une façon homogène.

L'annexe 2 de ce rapport, consigne les essais effectués et donne un résumé des mesures de température relevées lors de cette course.

#### **1.18.2 Expertise des freins des bogies transporteurs par Bombardier**

Suite à la recommandation du SEA, Travys a commandé une expertise des freins des bogies-transporteurs à Bombardier, constructeur des bogies.

Les mesures de freinage ont été exécutées le 15.12.2005. Les résultats de ces mesures sont consignés dans le rapport d'expertise sur les freins des bogies-transporteurs Travys établi par Bombardier le 26.01.2006.

Les essais de frein ont été effectués avec une composition formée de l'automotrice Be 4/4 n° 2 et d'un wagon Fcs de 38,7 t posé sur 2 bogies-transporteurs. Dans un premier temps, le rapport de freinage de l'automotrice seule a été mesuré. Puis, le rapport de freinage de l'automotrice et de la charge remorquée ont été mesurés en fonction de divers paramètres. Les valeurs du rapport de freinage  $\lambda$  des bogies-transporteurs, consignées dans l'annexe 3 du rapport d'expertise Bombardier, ont été finalement déterminées par calcul.

Les résultats de cette expertise peuvent être résumés comme suit:

Le rapport de freinage des bogies-transporteurs est conforme aux mesures effectuées lors de l'homologation des bogies en 1981.

Les différences du rapport de freinage  $\lambda$  (31 %) mesurées lors des nombreux essais de freinage est acceptable pour l'engagement des bogies. Cette variation corrobore les différences de température mesurées (36,6 %) lors de la course d'essai du 09.11.2005 (voir point 1.18.1 ci-dessus). Pour être homologués, les bogies-transporteurs doivent avoir un coefficient  $\lambda$  minimum de 45. Dans la série de mesure effectuées lors de l'expertise Bombardier, la valeur  $\lambda$  minimum était de 50 et la valeur maximum de 73.

Les essais de frein ont été effectués avec une charge et un couple de freinage défavorables. La charge de référence était de 19.35t et l'effort des bogies-transporteurs a été réglé sur 16t (valable pour des charges par essieu de 15 à 18t). Les roues des bogies-transporteurs utilisés lors des essais étaient quasiment neuves et fournissaient le couple de freinage le plus bas. Par conséquent, on peut dire que les valeurs mesurées par Bombardier sont des valeurs minimales.

### 1.18.3 Accélération possible en déclivité de 44 ‰ (annexe 3)

Comme indiqué au point 1.13 précédent, l'accélération moyenne du convoi pendant sa phase de dérive était de 0,12 m/s<sup>2</sup>.

On sait que sur une déclivité, l'accélération en m/s<sup>2</sup> générée par la gravité à des véhicules ferroviaires non freinés est égale en première approximation à 10 fois la pente en ‰. Soit dans notre cas:  $10 \times 0,044 = 0,44 \text{ m/s}^2$

L'annexe 3 de ce rapport, "réflexions sur les causes de l'accident" démontre, par des calculs simples, que les forces qui ont agi sur les véhicules du train 6020 le 01.11.2005 sur la déclivité déterminante de 44 ‰, ont provoqué la dérive du convoi lorsque l'automotrice a perdu son adhérence.

### 1.18.4 Calcul des poids freins (annexe 4)

Le règlement Travys R300.5 "Préparation des trains" stipule au chapitre 5.4 "Prescription de freinage" chiffre M 4.6.1 "Utilisation des catégories de train et de freinage":

*La marche des trains n'indique ni la catégorie de train, ni le rapport de freinage.*

*Dans la mesure où tous les essieux des véhicules remorqués sont freinés à l'air et où tous les leviers des dispositifs **vide-charge** sont en bonne position, le rapport de freinage est considéré comme atteint. Dans ce cas, le calcul du rapport de freinage n'est pas nécessaire.*



Comme tous les freins de la composition (automotrice et charge remorquée) étaient en service, que l'essai du frein était bon, le train 6020 pouvait circuler conformément à la marche du train, soit à la vitesse maximum de 40 km/h.

Cette façon de procéder est valable lorsque la motrice est en mesure d'exercer un effort de freinage correspondant à son poids-frein inscrit (soit 43t). Ceci est le cas lorsque les conditions d'adhérence roues – rails sont normales.

Les calculs de rapport de freinage développés dans l'annexe 4 démontrent que lorsque la motrice n'est plus en mesure d'exercer un effort de freinage, la dérive du convoi est inéluctable.

## **1.19 Information concernant l'organisation et la procédure**

Le train 6020 était un train marchandise facultatif, mis en marche en cas de besoin par l'entreprise de transport Travys

## **2 Evaluation**

### **2.1 Aspects techniques**

#### **2.1.1 Analyse de la bande tachygraphique du 01.11.05 (annexe 1)**

Le diagramme de la vitesse du train 6020 montre bien la difficulté que le mécanicien a eu pour maintenir une vitesse constante au vu des mauvaises conditions d'adhérence. Comme le mécanicien le mentionne dans son rapport d'audition, on constate un premier blocage des roues vers le tunnel de l'Onglettaz. La décision du mécanicien de limiter la vitesse du train à 20 – 22 km/h dès l'arrêt de Trois-Villes était judicieuse. Au lieu-dit "les Murets" la motrice s'est enrayée, la vitesse des roues tombant à 2 – 3 km/h pendant quelques secondes. Pour arrêter l'enrayement, le mécanicien a dû momentanément réduire le freinage électrique. A partir de ce moment, on peut dire que le convoi est parti à la dérive, sa vitesse augmentant de façon continue avec une accélération déterminée graphiquement de 0,12 m/s<sup>2</sup>. A la vitesse de 65 km/h les roues de l'automotrice se sont bloquées (probablement lorsque le mécanicien a effectué le serrage d'urgence). Lorsque les roues se sont bloquées, le tachygraphe a indiqué une vitesse "zéro" et aucun enregistrement ne s'est effectué sur la bande ou le disque tachygraphique. De ce fait, il n'est pas possible de savoir à quelle vitesse le convoi a abordé la courbe d'entrée de Six-Fontaines ni à quelle vitesse le wagon Eaos s'est renversé. La vitesse estimée à 75 - 80 km/h est vraisemblablement réaliste.

#### **2.1.2 Accompagnement du 09.11.2005 (annexe 2)**

L'accompagnement du train 6020 du 09.11.2005 (composition semblable au train 6020 du 01.11.2005) a permis de faire les constatations suivantes:

- dans des conditions d'adhérence normales la conduite du convoi est aisée
- en déclivité de 40 ‰ et plus, le poids-frein de la charge remorquée ne suffit pas pour le train complet. Cette remarque est valable quelles que soient les conditions d'adhérence
- les grandes différences de température (jusqu'à 36 %) mesurées sur les roues laissent penser qu'il existe une grande dispersion dans les efforts de freinage exercés sur les roues des bogies-transporteurs
- une répétition des mesures du chemin de freinage des bogies-transporteurs paraît judicieuse

- lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises les prescriptions actuellement en vigueur devraient être adaptées ou complétées

### **2.1.3 Rapport d'expertise Bombardier**

Le rapport d'expertise de Bombardier confirme le bon fonctionnement du frein des bogies-transporteurs impliqués dans l'accident. Il confirme également que le rapport de freinage des bogies-transporteurs correspond aux valeurs déterminées lors de leur homologation en 1981. Les rapports de freinage  $\lambda$  des bogies-transporteurs mesurés lors des essais effectués le 15.12.2005 étaient tous compris entre 50 et 73%. Ces essais ayant été effectués dans des conditions de freinage défavorables, les valeurs  $\lambda$  ci-dessus sont des valeurs minimales.

Les DE OCF précisent que pour des déclivités déterminantes de 31 à 50 ‰, le rapport de freinage théorique des wagons ne doit pas être inférieur à 45 %. Les bogies-transporteurs Travys satisfont à cette condition.

Une augmentation du rapport de freinage des bogies-transporteurs ne doit pas être envisagée. Elle pourrait avoir un effet contre-productif. Par mauvaises conditions d'adhérence, les roues des bogies-transporteurs pourraient s'enrayer plus facilement avec un rapport de freinage renforcé et ainsi favoriser la dérive du convoi.

### **2.1.4 Calcul des accélérations en pente de 44 ‰ (annexe 3)**

L'annexe 3 démontre par le calcul des forces agissant sur les véhicules, que la force de freinage exercée par la charge remorquée est insuffisante pour maintenir la vitesse du train sur une déclivité déterminante de 44 ‰ lorsque la motrice ne peut plus exercer d'effort de freinage.

Pour résoudre ce problème et garantir la sécurité des trains lors de conditions d'adhérence défavorables, il est nécessaire que l'effort de freinage exercé par la charge remorquée suffise pour le train entier pour la déclivité déterminante ou que la motrice soit toujours en mesure d'exercer un effort de freinage tel que le poids-frein résultant du train suffise à arrêter le train sur la plus forte pente parcourue

La pose de freins indépendants des conditions d'adhérence sur l'automotrice, comme un frein magnétique sur rails, pourrait aussi améliorer le rapport de freinage du convoi dans les situations critiques.

### **2.1.5 Rapport de freinage du train**

Le personnel Travys, mécanicien et agent de manœuvre, a appliqué les prescriptions en vigueur. Tous les freins du train étant en service, les dispositifs de freinage de la charge des bogies-transporteurs sur 16t et l'essai du frein "bon", le train 6020 pouvait circuler sans restriction, soit à la vitesse maximum autorisée de 40 km/h.

Cette façon de déterminer la catégorie du train est conforme aux prescriptions PCT Travys et aux DE OCF en vigueur.

Le rapport d'expertise sur les freins des bogies-transporteurs Travys établi par Bombardier montre que le rapport de freinage de l'automotrice ( $\lambda$  de 78 à 40 km/h) et des bogies-transporteurs ( $\lambda$  variant de 50 à 73) sont inférieurs à ceux pris en compte dans le tableau de freinage des PCT Travys (R 5.4 "Préparation des trains" "Prescriptions de freinage" chi M4.7.1). La catégorie des trains avec une charge remorquée constituée de bogies-transporteurs devrait être adaptée en conséquence.

## 2.1.6 Equipement de frein des l'automotrices Be 4/4 1 et 2

Ces deux automotrices sont équipées:

- d'un frein électrique puissant
- de deux freins mécaniques (à disque) à commande pneumatique:
  - frein automatique Oerlikon agissant sur les 4 essieux
  - frein de manœuvre direct agissant sur les 4 essieux
- de 2 freins à main agissant chacun sur les deux essieux d'un bogie.

Le frein électrique est équipé d'un système anti-glissement. Ce dispositif réagit de façon lente et ne permet pas un réglage fin lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises. Les freins mécaniques ne sont pas équipés de freins anti-enrayeurs

L'accident de Six-Fontaines démontre que les équipements de frein des automotrices Be 4/4 1 et 2 sont insuffisants lorsque les conditions d'adhérence sont très mauvaises. Des mesures d'améliorations techniques doivent être envisagées.

## 2.2 Exploitation

### 2.2.1 Prescriptions

Le règlement Travys 5.4 "Préparation des trains" et "Prescriptions de freinage" est applicable pour la conduite des trains sur la ligne Yverdon – Ste-Croix.

La catégorie et la vitesse maximum des trains marchandises dont la charge remorquée est constituée par des bogies-transporteurs doit être adaptée aux résultats des mesures effectuées par Bombardier le 15.12.2005.

### 2.2.2 Conditions d'adhérence

Sur le parcours Ste-Croix – Baulmes la charge remorquée maximum autorisée est de 120t. pour un train tracté par une automotrice Be 4/4 II. De ce fait, au départ de Ste-Croix, les trains marchandises avec charge remorquée constituée de wagons sur bogies-transporteurs sont généralement des trains courts (souvent un wagon, comme le train 6020 du 01.11.2006). Le rapport entre le poids-frein de la charge remorquée et le poids-frein du train est bas (36,9 t / 79,9.t) soit 46% pour le train accidenté. Cela signifie dans ce cas, que le poids-frein de la motrice est supérieur à celui de la charge remorquée.

Lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises et que l'automotrice ne peut plus exercer la totalité de son effort de freinage, le rapport de freinage global du train diminue fortement. Si le poids-frein de la charge remorquée ne suffit pas pour le train entier pour la déclivité déterminante considérée et que la motrice perd son adhérence (enrayage des roues par exemple) la dérive du train est inéluctable.

Les prescriptions en vigueur ne tiennent pas compte de ces conditions exceptionnelles.

### 2.2.3 Desservance des freins

Les PCT (édition du 02.07.2006) stipulent au R 300.14 la façon de desservir les freins du train. Les extraits ci-dessous permettent de comprendre le travail du mécanicien dans des conditions d'adhérence normales et mauvaises.

Le chi 2.1.1 "**Principe**":

*"lors de l'utilisation des freins, il faut procéder à un minimum de manipulations, effectuées à bon escient et de manière réfléchies.*

*Une connaissance des principales fonctions des appareils de frein, l'observation des*

*manomètres et de l'indicateur de vitesse, une juste appréciation de la décélération, des distances et des conditions d'adhérence constituent les conditions essentielles pour une utilisation irréprochables des freins."*

Le chi 2.2.1 "**Utilisation des freins**", "**Trains**":

*"Dans la mesure du possible, il faut toujours utiliser le frein électrique. Lorsque l'efficacité du frein électrique est insuffisante, il faut en plus utiliser le frein automatique."*

Le chi 2.6.1 "**Frein électrique**" "**Généralités**" :

*"Le frein électrique doit toujours être utilisé*

- *sur les pentes avec le courant de freinage maximal autorisé*
- *pour les réductions de vitesses et les arrêts le plus souvent possible"*

Le chi 3.7.2 "**Danger**" "**Mauvaises conditions d'adhérence**":

*"lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises, le mécanicien de locomotive doit, à titre préventif et, le cas échéant, sans tenir compte des éventuelles pertes de temps, circuler à une vitesse fortement réduite. Dans les situations critiques, il faut actionner, si possible, les sablières.*

*L'effort de freinage nécessaire doit si possible être réparti sur l'ensemble des essieux.*

*Des efforts de freinage trop importants avec le frein à air ou avec le frein électrique doivent, autant que possible, être évités."*

Ces extraits des PCT montrent que lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises, le mécanicien doit conduire son train de façon différente.

Lorsque les conditions d'adhérence sont normales:

- **Utilisation du frein électrique au maximum des possibilités**

Lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises:

- **Répartition de l'effort de freinage nécessaire sur tous les essieux**
- si nécessaire réduction de la vitesse.

Les mécaniciens Travys devraient être sensibilisés à la façon de desservir les freins du train à l'approche et sur les fortes pentes lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises.

### **3 Conclusions**

#### **3.1 Résultats de l'enquête**

##### **3.1.1 Analyse des données techniques**

###### **3.1.1.1 Composition du train 6020 du 01.11.2005**

Le train était en parfait état de marche et tous les freins étaient en fonction.

###### **3.1.1.2 Rapport de freinage de la motrice**

Le poids-frein inscrit sur les automotrices Be 4/4 II est de 43 t. Il correspond à un rapport de freinage de 96 %.

Afin de déterminer le rapport de freinage des bogies-transporteurs, Bombardier a tout d'abord dû déterminer le rapport de freinage de l'automotrice seule (haut le pied). Ces mesures ont donné les résultats suivants:

- pour une vitesse initiale de 30 km/h: rapport de freinage de l'automotrice: 73 %
- pour une vitesse initiale de 40 km/h, rapport de freinage de l'automotrice: 78 %



Les trains marchandises avec bogies-transporteurs circulant à la vitesse maximum de 40 km/h, il appartient aux spécialistes des questions de freinage de déterminer quel rapport de freinage il convient de prendre en considération pour les automotrices Be 4/4 II.

Cette différence n'est pas la cause de la dérive du train 6020.

### **3.1.1.3 Rapport de freinage de la charge remorquée**

Actuellement, le poids-frein de la charge remorquée sur des bogies-transporteurs est déterminée avec un rapport de freinage de 64%. Les mesures effectuées par Bombardier montrent que ce rapport de freinage peut fortement varier d'une mesure à l'autre de 50 à 73 %.

Il s'agit de s'assurer que la valeur de 64% admise actuellement couvre bien les cas les plus défavorables qui peuvent survenir en exploitation.

### **3.1.1.4 Freins des automotrices Be 4/4 II**

Tous les freins de l'automotrice Be 4/4 2 étaient en parfait état de marche le jour de l'accident.

Le jour de l'accident, les conditions d'adhérence roues – rails étaient telles que ni le frein électrique (probablement rendu inefficace par le dispositif électronique anti-glissement) ni les freins mécaniques de l'automotrice Be 4/4 2 n'ont permis d'éviter la dérive du train.

Des améliorations techniques doivent augmenter l'efficacité des freins des automotrices Be 4/4 II lorsque les conditions d'adhérences sont mauvaises..

### **3.1.1.5 Bande tachygraphique**

La vitesse du convoi était adaptée à la situation  
Le diagramme de la vitesse montre la difficulté de maintenir une vitesse constante  
L'accélération en phase de dérive est de 0,12 m/s<sup>2</sup>  
La vitesse maximum enregistrée avant l'enrayage des roues était de 65 km/h,

## **3.1.2 Exploitation**

### **3.1.2.1 Marche du train**

Conforme aux PCT en vigueur

### **3.1.2.2 Conduite du train**

Le mécanicien s'est rendu compte des mauvaises conditions d'adhérence et a, de sa propre initiative, réduit la vitesse du convoi. Sa façon de conduire n'est pas mise en cause dans cet accident.

## **3.2 Causes**

Le poids frein de la charge remorquée, bien que conforme aux prescriptions en vigueur, était insuffisant pour le freinage du train sur la pente déterminante considérée de 44 ‰.

La dérive du train a été provoqué par les mauvaises conditions d'adhérence roues – rails de l'automotrice Be 4/4 2.

Les conditions d'adhérence étaient particulièrement défavorables: automne, première averse après une longue période de sec, importante chute de feuilles mortes. Les freins de l'automotrice Be 4/4 2 n'ont pas permis au mécanicien de maîtriser ces conditions exceptionnellement mauvaises. Dans un premier temps le frein électrique a perdu son efficacité, (probablement parce que les roues de l'automotrice glissaient dès qu'un effort de freinage électrique était exercé) puis, alors que la vitesse du train avait déjà atteint 65 km/h, les 4 essieux se sont bloqués (probablement lorsque le mécanicien a déclenché le frein d'urgence).

## **4 Recommandations de sécurité**

### **4.1 PCT**

Tenir compte des résultats du rapport d'expertise Bombardier sur les freins des bogies-transporteurs Travys du 26.01.2006 (rapport de freinage de l'automotrice pour des vitesses de 40 km/h et rapport de freinage des bogies-transporteurs) dans le calcul du rapport de freinage des trains marchandises avec une charge remorquée sur bogies-transporteur). Adapter au besoin le chapitre 5.4 des PCT Travys "Préparation des trains" et "Prescription de freinage" en conséquence.

### **4.2 Conduite des trains**

Sensibiliser le personnel de conduite sur la desservance des freins lorsque les conditions d'adhérence sont mauvaises (répartition des efforts de freinage entre véhicule moteur et charge remorquée) (PCT, R 300.14. chi 3.7.2)

### **4.3 Améliorations techniques déjà réalisées par Travys**

Equipement d'un wagon-citerne avec patins pour le nettoyage des rails, (réalisé).  
Montage de sablières sur l'essieu 3 des Be 4/4 II, (réalisé).  
Montage d'un dispositif anti-enrayage sur les freins à disque des Be 4/4 II, (en phase de réalisation).

*L'enquête a été menée par Erwin Drabek*

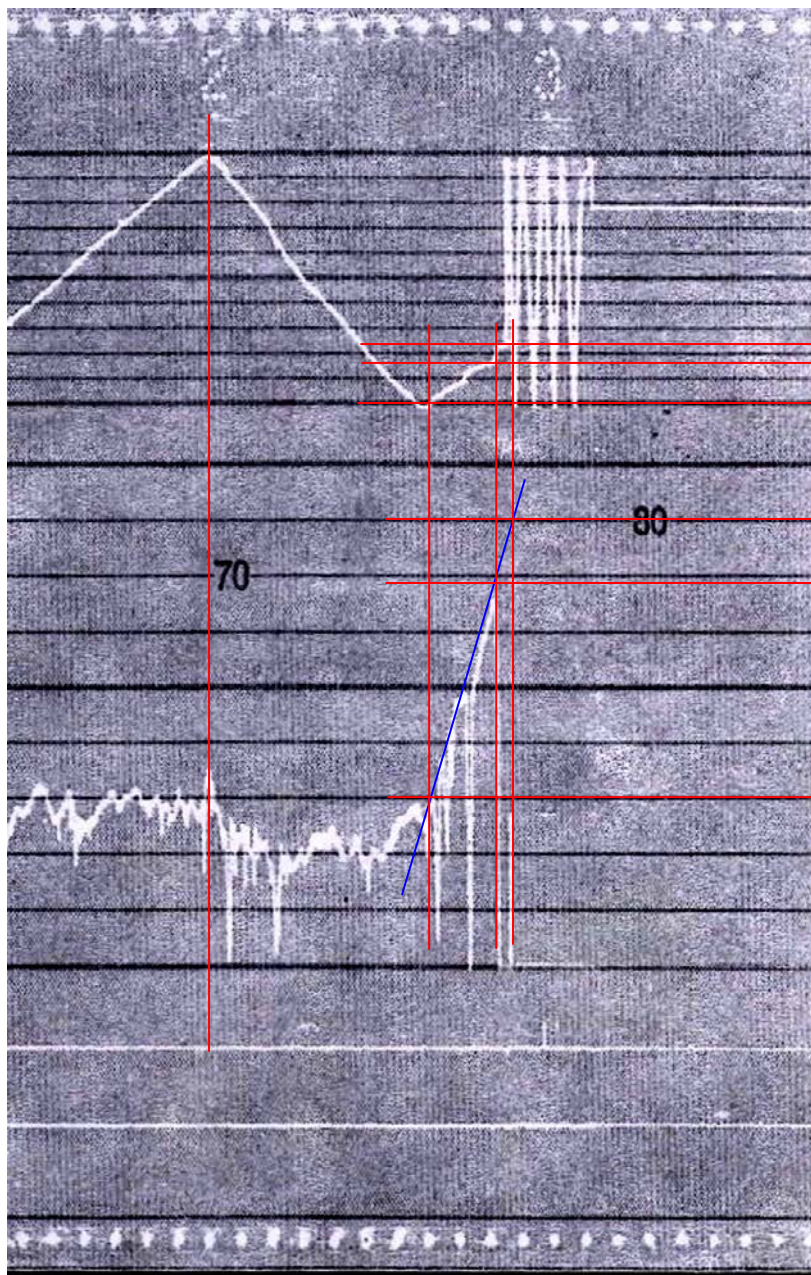
Berne, le 25 avril 2007

Service d'enquête sur les accidents des transports publics

Erwin Drabek  
Enquêteur auxiliaire SEA

Photos: 01, 02, 03, 04, et 07, Travys  
05, 06, 08, 09, SEA/dre

Extrait de la bande tachygraphique du train 6020 du 01.11.2005, Be 4/4 2



t2 = 14h 12min 10 sec  
t1 = 14h 11min 30sec  
t0 = 14h 10min 00sec

V2 = 80 km/h

V1 = 69 km/h

V0 = 30 km/h

Accélération:  $a = dv / dt$  ;

Accélération du train:  $a = (69 - 30) \times 1000 / 3600 / 90 = 0,12 \text{ m/s}^2$

Chemin parcouru:  $e = (V0 \times t) + (\frac{1}{2} a t^2)$

Chemin parcouru depuis le début de la perte d'adhérence jusqu'au blocage des roues de l'automotrice:  $e = (30.000 / 3600 \times 90) + [\frac{1}{2} \times 0,12 \times (90)^2] = 750 + 486 = 1236 \text{ m}$

## Accompagnement du train 6020 le 09.11.2005 avec l'instructeur traction

**1. Pourquoi cet accompagnement**

Sur la base des constatations faites les 01 et 02.11.2005 (essieux des bogies-transporteurs sans trace de méplats et doutes quant à l'efficacité des freins des bogies-transporteurs) l'enquêteur SEA a décidé d'accompagner un train semblable à celui qui a déraillé le 01.11.2005 afin de mieux comprendre ce qui a pu se passer.

Un Instructeur traction a accompagné ce train.

Autres personnes présentes:

Le chef traction Travys

Un mécanicien Travys

Un agent de manœuvre Travys avec fonction de chef de train

L'enquêteur SEA.

**2. Formation du train**

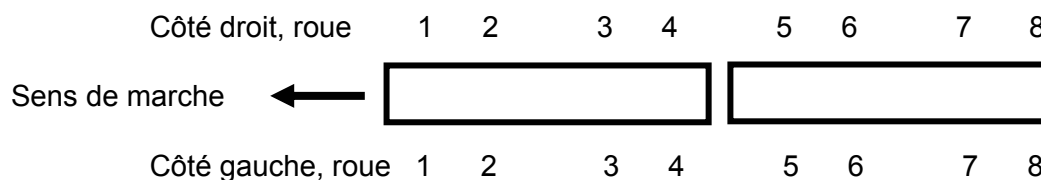
Automotrice Be 4/4 1,		045t
Eaos 31 85 532 0 729-7	22t + 45t =	067t
Bogies-transporteurs 604 AB et 614 AB	(2x1,65 + 2x1,7))=	006,7t
Masse totale du train		118,7t

Le freinage à la charge des bogies-transporteurs est placée sur 16t.

Essai d'étanchéité de la conduite générale: moins de 0,1 bar / min: en ordre.

Essai complet du frein selon les prescriptions: en ordre.

La mesure de la température des 16 roues des bogies transporteurs est faite en commençant par le côté avant gauche dans le sens de marche du train et en terminant par le côté avant droit dans le sens de marche



Les mesures de température sont effectuées avec un télé-thermomètre mis à disposition par Travys. Les points de mesure sont sur la surface avant des roues, entre la table de roulement et la marque de limite d'usure des roues.

**3. Trajet Ste-Croix – Yverdon**

Départ de Ste-Croix à 14h28

Au départ de Ste-Croix, V 30 à 40 km/h jusqu'à un tronçon rectiligne en déclivité de 40 ‰ puis effectué un serrage à fond en lâchant l'automotrice. Résultat, la vitesse du convoi ne diminue pas mais augmente légèrement. Interrompu l'exercice et arrêté le train en utilisant le frein électrique de l'automotrice. A l'arrêt de train, mesuré la température des roues des bogies-transporteurs.

Au vu de la faible efficacité du freinage de la charge remorquée, après concertation avec l'instructeur traction et le chef traction, les leviers de freinage de la charge des bogies-transporteurs ont été placés sur position 20t.

Après cet arrêt en déclivité de 40 ‰, laissé le train accélérer par la seule force de la gravité: après 250 m environ le convoi atteint 30 km/h. A 38 km/h, toujours en déclivité de 40 ‰, effectué un nouveau serrage à fond, automotrice non freinée: cette fois, la vitesse du convoi diminue légèrement. Poursuivi la marche jusqu'à Trois-Villes



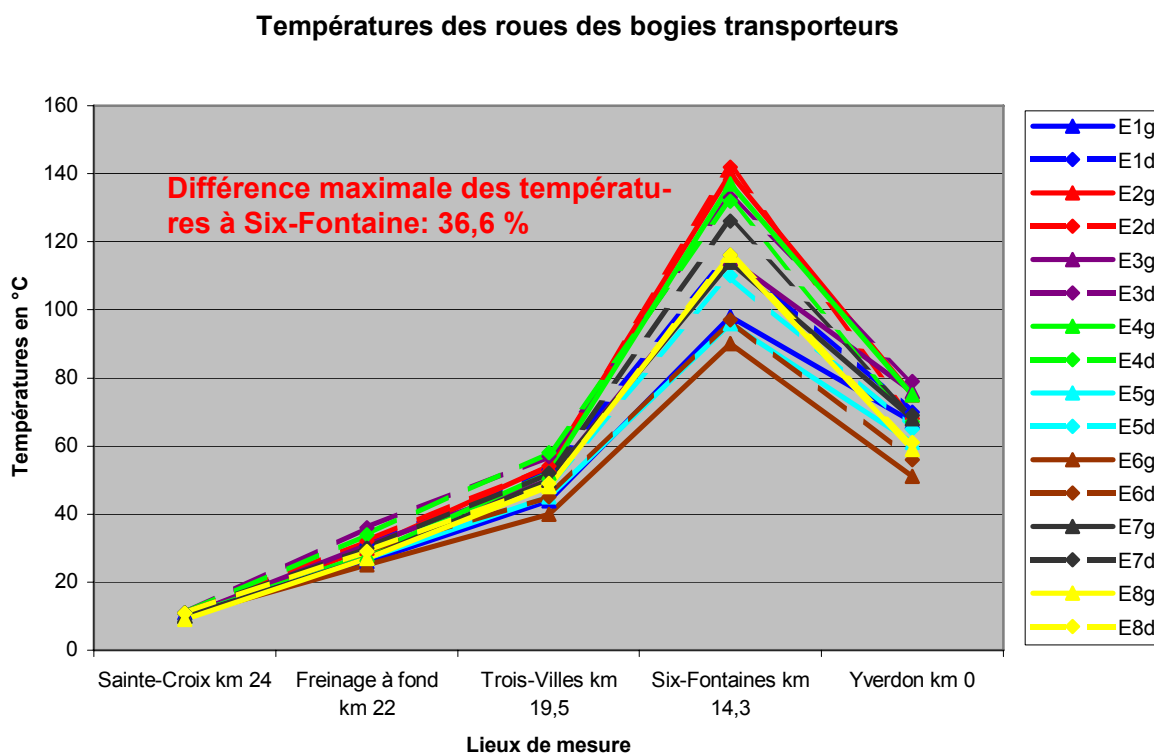
avec la méthode de freinage en dent de scie. Arrêt de 3 min à Trois-Ville et mesure de la températures des roues des bogies-transporteurs.

Poursuite du trajet Trois-Villes – Six-Fontaines en effectuant plusieurs freinage afin de solliciter un maximum les freins des bogies-transporteurs. Arrêt à Six-Fontaines pour mesurer la température des roues des bogies-transporteurs.

De Six-Fontaines à Yverdon, parcours normal à 40km/h avec arrêt à Baulmes et Vuiteboeuf. A Yverdon, mesure des températures.

#### 4. Mesures des températures

Le résultat des mesures de températures est résumé dans le graphique ci-dessous:



La température maximum des roues mesurée à Six-Fontaine est de 142 °C à l'essieu 2 droite. On constate une grande dispersion entre les températures des roues. A Yverdon les températures sont environ la moitié de celles mesurées à Six-Fontaines, ceci pour un temps de parcours de 31 min entre les deux séries de mesure et une température ambiante d'environ 10 °C:

#### 5. Conclusions de la course d'essai

Vu le freinage jugé subjectivement faible et également vu la grande dispersion dans les températures relevées, il nous paraît opportun de vérifier et de remesurer le rapport de freinage des bogies-transporteurs. Il est possible qu'avec le temps certains paramètres tels que le système de freinage à la charge ou la qualité des plaquettes de frein à disque des bogies-transporteurs se soient modifiés.

## Réflexions sur les causes de l'accident

**1. Force de la gravité due à la pente**

La poussée d'une masse sur une pente due à la gravité (Hangabrieb) se détermine de façon simplifiée comme suit:

$W = m \cdot g \cdot \text{pente en } \text{‰}$ , soit:

$W_{\text{loc}}$ :	$45 \times 9,81 \times 0,044 =$	19,4 kN
$W_{\text{rem}}$ :	$73,7 \times 9,81 \times 0,044 =$	31,8 kN
$W_{\text{tot}}$ :	$118,7 \times 9,81 \times 0,044 =$	51,2 kN

**2. Accélération**

L'accélération est donnée par la formule:

$$a = \Sigma F / m, \text{ ou, } m \cdot g \cdot \text{pente} / m, \text{ ou, en simplifiant, } a = g \cdot \text{pente} !$$

Par conséquent, sans considérer ni les frottements, ni les masses en rotation et ni la résistance de l'air, on peut dire que l'accélération due à la gravité pour un train dans une pente est égale à environ 10 fois la pente exprimée en ‰.

Pour une pente de 44‰, cela donne:

$$a = 10 \times 0,044 = 0,44 \text{ m/s}^2$$

ou, si l'on tient compte de g:

$$a = 9,81 \times 0,044 = 0,43 \text{ m/s}^2$$

On retrouve aussi cette valeur par le calcul:

$$a_{\text{tot}} = W_{\text{tot}} / m = 51,2 / 118,7 = 0,43 \text{ m/s}^2$$

Si l'on considère maintenant que la charge remorquée ne freine que son propre poids ( $W_{\text{rem}} \text{ résultant} = 0$ ) et que seule la poussée de la gravité de la motrice agit sur le convoi, on obtient l'accélération  $a_{\text{mot}}$  suivante:

$$a_{\text{mot}} = W_{\text{mot}} / m_{\text{train}} = 19,4 / 118,7 = 0,16 \text{ m/s}^2$$

En considérant une résistance au roulement et à l'air  $w$  de 4 N/kN, (ce qui est beaucoup), on obtient pour la motrice de notre convoi

$$w = 45 \cdot 9,81 \cdot 0,004 = 1,8 \text{ kN}$$

En déduisant cette force de la force  $W_{\text{mot}}$ , on obtient une force résultante  $W_r$  de:

$$W_r = W_{\text{mot}} - w = 19,4 - 1,8 = 17,6 \text{ kN}$$

L'application de cette force au convoi aurait généré une accélération de:

$$a_{\text{mot}2} = W_{\text{mot}2} / m_{\text{train}} = 17,6 / 118,7 = 0,15 \text{ m/s}^2.$$

Cette différence est négligeable pour nos réflexions.

### 3. Analyse de la bande tachygraphique du train 6020 du 01.11.2005

La bande tachygraphique nous permet de déterminer l'accélération du train avant le déraillement:

$$a = dv / dt,$$

$$a = (69 - 30) \times 1000 / 3600 / 90 = 0,12 \text{ m/s}^2$$

Les calculs effectués au pt 2 ci-dessus donnent une accélération de 0,15 à 0,16 m/s<sup>2</sup>. Par conséquent, comme l'accélération mesurée du convoi est inférieure à l'accélération calculée, on peut en déduire:

- que la charge remorquée a freiné plus que son propre poids,
- que la motrice n'avait pas un coefficient de frottement de "0",
- qu'il existe une conjugaison des deux déductions ci-dessus.

On peut aussi calculer que, pour obtenir une accélération de 0,12 m/s<sup>2</sup>, il faudrait une poussée de :

$$W_{a0,12} = 0,12 \times 118,7 = 14,2 \text{ kN}$$

En admettant que le coefficient d'adhérence de l'automotrice soit "0", on peut alors dire que la charge remorquée exerce un effort de freinage de:

$$W_{rem0,12} = W_{tot} - W_{a0,12} = 51,2 - 14,2 = 37 \text{ kN.}$$

Les exemples précédents démontrent que le poids frein de la charge remorquée ne suffisait pas à freiner le train dans une pente de 44‰.

### 4. Influence d'une plus grande charge remorquée

Si le poids de la charge remorquée avait été double et qu'elle freine son propre poids, la perte de l'adhérence de la motrice aurait engendré l'accélération suivante du convoi:

$$a_{2\text{wagons}} = 19,4 / (118,7 + 73,7) = 0,1 \text{ m/s}^2.$$

Si l'on refait le même calcul en admettant que chaque wagon remorqué exerce un effort retardateur de 37 kN au lieu de 31,8 kN, on obtient alors l'accélération suivante:

$$W_{tot2} = (45 + 73,7 + 73,7) \times 9,81 \times 0,044 = 83,4 \text{ kN}$$

$$W_{rem2} = 2 \times 37 = 74 \text{ kN}$$

$$a_{tot2} = (83,4 - 74) / 192,4 = 0,049 \text{ m/s}^2$$

Ces calculs montrent que, dans les conditions actuelles de freinage, plus la charge remorquée est élevée plus le risque de partir en dérive est diminué. Cette remarque est d'ailleurs valable pour tout véhicule qui freine plus que son propre poids sur la pente déterminante considérée.

### 5. Rapport de freinage des bogies-transporteurs

Le rapport d'expertise des freins des bogies-transporteurs donnent des coefficients de freinage  $\lambda$  variant de 50 à 73.

Si  $\lambda$  représente le pourcentage de freinage de la charge, on peut dire que la force de freinage exercée par les bogies transporteurs est de:

$W_{\text{ftot}} = m/g \cdot \lambda$ , soit:

$W_{\text{ftotmin}}: (737 / 9,81) \times 0,5 = 37,5 \text{ kN}$

$W_{\text{ftotmax}}: (737 / 9,81) \times 0,73 = 54,8 \text{ kN}$

Cette différence exprimée en % donne une variation de 31%

Si l'on se réfère aux calculs du point 3 ci-dessus, et que l'on valide le calcul:

$W_{\text{rem0,12}} = W_{\text{tot}} - W_{\text{a0,12}} = 51,2 - 14,2 = 37 \text{ kN}$ ,

on peut en déduire que le  $\lambda$  des bogies-transporteurs était égal, voire même légèrement inférieur à 50

Les mesures de températures relevées lors de la course 6020 du 09.11.2005 montrent une dispersion maximum de 36,6% entre les roues des bogies-transporteurs

La variation des températures corrobore la variation des coefficients de freinage  $\lambda$  des bogies-transporteurs.

## 6. Conclusions

Le calcul des forces agissant sur les véhicules du convoi permet de démontrer que si l'adhérence de l'automotrice tombe à zéro, le poids-frein de la charge remorquée ne suffit plus pour freiner le train. Par conséquent la dérive du convoi est inévitable.



## Poids frein du train, poids-frein de sécurité

Résumé des discussions du 14.09.2006 avec M. \_\_\_\_\_, Instructeur traction.

### 1. Rapport de freinage des bogies transporteurs

Selon le rapport d'expertise de Bombardier sur les freins des bogies-transporteurs TRAVYS, le rapport de freinage ou coefficient de freinage  $\lambda$  des bogies-transporteurs varie entre 50 et 73. (la moyenne arithmétique des mesures de contrôle faites le 15.12.2005 donne une valeur  $\lambda$  de 63)

Ces valeurs sont conformes aux DE OCF qui stipulent à l'Ad art. 49, feuille no 7, édition du 01.01.84 chi. 625 que le rapport de freinage théorique ne doit pas être inférieur à 45 % pour des déclivités déterminantes comprises entre 31 et 50 ‰

Pour le calcul des rapports de freinage aux points 2, 3 et 4 ci-après, le rapport de freinage des bogies-transporteurs a été fixé à 50 %. Le choix de la valeur inférieure de 50 % au lieu de la moyenne arithmétique de 63% va dans le sens de la sécurité. Les calculs effectués au point 4 de l'annexe 3 montrent d'ailleurs que le rapport de freinage de la charge remorquée du train 6020 du 01.11.2005 était vraisemblablement légèrement inférieure à 50%.

### 2. Poids frein et rapport de freinage du train

Masse de l'automotrice Be 4/4 2:	45,0 t
Masse du wagon Eaos et des bogies transporteurs:	73,7 t
Masse totale du train:	118,7 t

Poids-frein de l'automotrice:	43,0 t
Poids frein de la charge remorquée calculée avec un $\lambda$ de 50:	36,9 t
Poids-frein total	79,9 t

Rapport de freinage total du train: $(79,9 * 100 / 118,7) =$	67,3 %
--	--------

Selon les DE PCT Travys chapitre 5.4 "préparation des trains, prescriptions de freinage" chi. 4.8.1 "tableau de freinage" la vitesse maximum d'un convoi ayant un rapport de freinage de 67% est de 35 km/h sur une déclivité déterminante de 44 ‰

Pour pouvoir circuler à 40 km/h (vitesse maximum de ligne de la marche du train 6020 du 01.11.2005) sur une déclivité déterminante de 44 ‰, il faut un rapport de freinage du train de 76%.

Sur le train 6020 du 01.11.2005, un tel rapport de freinage serait atteint si l'on prenait en considération les poids-frein suivants:

Poids-frein de la motrice:	43,0 t
Poids-frein de la charge remorquée, obtenue avec un $\lambda$ de 64	47,2 t
Poids-frein total	90,2 t

Rapport de freinage: $90,2 * 100 / 118,7 =$	76 %
---	------

### 3. Rapport de freinage du train lorsque la motrice perd son adhérence

Lorsque le véhicule moteur perd son adhérence, son poids frein devient égal à "0". Dans ce cas, le rapport de freinage du train se réduit à:

$$(36,9 * 100 / 118,7) = 31\%$$

Sur une déclivité de 44 ‰, le poids-frein minimum requis pour une vitesse de 10 km/h est de 44 %. La valeur de 31 % est bien inférieure à la valeur minimum requise. Ce calcul montre que dans ces conditions, le train ne peut plus s'arrêter. La dérive du train est inévitable. L'accident est ainsi démontré.

Si l'on effectue le calcul précédent en tenant compte d'un rapport de freinage de la charge remorquée de 64% au lieu de 50%, on obtient:

$$(47,2 * 100 / 118,7) = 40\%$$

Cette valeur est également inférieure au rapport de freinage minimum pour une déclivité de 44 ‰ et la vitesse de 10 km/h

L'accélération de 0,12 m/s<sup>2</sup> donnée par la bande tachygraphique du train en dérive prouve que le poids-frein de la charge remorquée était nettement insuffisant pour la totalité du train.

Ces constatations accréditent l'hypothèse que le rapport de freinage des bogies-transporteurs du train accidenté ne devait pas être supérieur à 50%

### 4. Rapport de sécurité selon les DE PCT TRAVYS

Les DE PCT Travys précisent au chapitre 5.4 "Préparation des trains, prescriptions de freinage" et 5.4.3 "Véhicules moteurs sans frein électrique" au dernier alinéa:

*"Sur les trains remorqués par des véhicules moteurs sans frein électrique en état de fonctionner, le 50% du poids-frein du véhicule moteur et le poids-frein de la charge remorquée doivent suffire pour le poids du train entier (véhicule moteur compris) pour la vitesse de 10 km/h et pour la déclivité déterminante (rapport. de freinage de sécurité)"*

Si l'on applique cette prescription au train 6020 du 01.11.2006 et que l'on considère que le frein électrique de la motrice devient inutilisable, le calcul du poids-frein donne  
Poids frein du train:  $(43 / 2 + 36,9) = 58,4$  t  
Rapport de freinage:  $(58,4 * 100 / 118,7) = 49,2$  %

Selon le tableau de freinage, ce rapport de freinage autorise une vitesse maximum de 20 km/h sur une déclivité déterminante de 44 ‰.

L'accident du 01.11.2005 montre que dans des conditions d'adhérence particulièrement défavorables, le poids-frein de la motrice peut tomber à "zéro". Dans ce cas, le rapport de sécurité ne peut pas être défini comme décrit ci-dessus.

## 5. Conclusions

Les calculs effectués ci-dessus montrent clairement que le poids-frein de la charge remorquée du train accidenté était insuffisante pour la masse de tout le train pour la déclivité déterminante de 44 ‰ et la vitesse de 10 km/h.

Les DE PCT Travys chapitre 5.4 "Préparation des trains, prescriptions de freinage" doivent être revues.

Elles ne tiennent pas compte du fait que, lorsque les conditions d'adhérences sont extrêmement mauvaises (comme pour le train 6020 du 01.11.2005) le véhicule moteur de tête peut perdre la totalité de son adhérence. Dans ces conditions, heureusement exceptionnelles et rares, le poids-frein du véhicule moteur de tête peut tomber à zéro.

Pour garantir la sécurité quelles que soient les conditions d'adhérence de la voie, les prescriptions de freinage devraient être modifiées comme suit:

Au départ de chaque train, le poids-frein de la charge remorquée doit suffire pour le poids du train entier pour la déclivité déterminante considérée et la vitesse de 10 km/h. (soit, pour une déclivité déterminante de 44 ‰ le poids frein de la charge remorquée rapportée au poids du train doit être au minimum de 44 %)

En outre le poids-frein des bogies-transporteurs devrait être revu à la baisse. (50 % au lieu des 64 % actuels).