

BEA-TT

*Bureau d'enquêtes sur les accidents
de transport terrestre*

*Rapport d'enquête technique
sur le déraillement de trois wagons
avec le heurt d'un TGV croiseur
le 20 octobre 2011
à Valence d'Agen (82)*

novembre 2012



**Conseil Général de l'Environnement
et du Développement Durable**

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents
de Transport Terrestre**

Affaire n° BEATT-2011-014

**Rapport d'enquête technique
sur le déraillement de trois wagons
avec le heurt d'un TGV croiseur
le 20 octobre 2011 à Valence d'Agen (82)**

Bordereau documentaire

Organisme commanditaire : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE)

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur le déraillement de trois wagons avec le heurt d'un TGV croiseur le 20 octobre 2011 à Valence d'Agen (82)

N°ISRN : EQ-BEAT--12-15--FR

Proposition de mots-clés : Transport de marchandises, wagon, voie, rail, nivellement, maintenance

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 du titre II du livre VI du code des transports et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004, relatifs notamment aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'événement analysé et en établissant les recommandations de sécurité utiles. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

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

SOMMAIRE

GLOSSAIRE.....	9
RÉSUMÉ.....	11
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	13
1.1 - L'accident.....	13
1.2 - La situation après l'accident.....	14
1.3 - Les secours et le bilan.....	14
1.4 - Les mesures prises après l'accident.....	15
1.5 - L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	15
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	17
2.1 - La ligne ferroviaire de Bordeaux à Toulouse.....	17
2.2 - Le train n° 815761.....	17
2.3 - Les wagons déraillés.....	18
3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	19
3.1 - Les résumés des déclarations et des témoignages.....	19
3.1.1 -Les déclarations du conducteur du train déraillé.....	19
3.1.2 -Les déclarations du conducteur du TGV croiseur.....	19
3.2 - L'exploitation des enregistrements de la radio sol-train.....	20
3.3 - L'examen des enregistrements graphiques.....	20
3.4 - La formation et la vérification du train n° 815761.....	21
3.5 - La surveillance du train en marche.....	21
3.6 - Le matériel roulant.....	21
3.6.1 -Les constats effectués sur les lieux de l'accident.....	23
3.6.2 -Le suivi de la maintenance du wagon n° 80 87 977 9514-9.....	25
3.6.3 -L'expertise effectuée à l'atelier de Nîmes-Courbessac.....	26
3.6.4 -Premières conclusions concernant le matériel roulant.....	27
3.7 - L'infrastructure ferroviaire.....	28
3.7.1 -Les éléments constitutifs de la voie.....	28
3.7.2 -Les règles de classement des défauts géométriques des voies.....	28
3.7.3 -Le suivi des caractéristiques de la voie.....	29
3.7.4 -Les constatations effectuées sur le terrain après l'accident.....	31
3.7.5 -Les relevés géométriques effectués après l'accident.....	33
3.7.6 -La stabilité du remblai.....	34
3.7.7 -Premières conclusions concernant l'infrastructure.....	35
3.8 - Les simulations numériques des effets des défauts géométriques constatés.....	36

4 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT.....	39
4.1 - La formation et la circulation du train n° 815761.....	39
4.2 - Le déraillement.....	39
4.3 - Les mesures immédiates de protection.....	40
4.4 - L'intervention des secours.....	40
5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....	41
5.1 - Les causes de l'accident.....	41
5.2 - Les paramètres normés de suivi géométrique des voies.....	42
5.3 - Les autres constats.....	42
6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	43
6.1 - Les causes de l'accident.....	43
6.2 - Les recommandations.....	43
ANNEXES.....	45
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	47
Annexe 2 : Synthèse des relevés manuels des paramètres géométriques de la voie.....	48
Annexe 3 : Résultats des simulations numériques du comportement dynamique du wagon.....	49

Glossaire

- **AC** : Agent Circulation
- **ATS** : Autres Travaux Systématiques
- **CG** : Conduite Générale de frein
- **COGC** : Centre Opérationnel de Gestion des Circulations
- **PK** : Point kilométrique
- **RAT** : Reconnaissance à l'Aptitude au Transport
- **REV** : Révision de wagon
- **RFN** : Réseau Ferré National
- **RFF** : Réseau Ferré de France
- **SAL** : Signal d'Alerte Lumineux
- **SAR** : Signal d'Alerte Radio
- **SNCF** : Société Nationale des Chemins de fer Français
- **STI** : Spécification Technique d'Interopérabilité
- **STS** : Système de Traitement Synthétique des enregistrements
- **TGV** : Train à Grande Vitesse
- **VA** : Valeur d'Alerte
- **VI** : Valeur d'Intervention
- **VR** : Valeur de Ralentissement
- **VT** : Visite Technique

Résumé

Le 20 octobre 2011 à 16h56, trois wagons trémies chargés de ballast du train SNCF n° 815761 circulant entre Bordeaux et Toulouse déraillent peu avant la gare de Valence d'Agen dans le Tarn-et-Garonne (82). Le TGV n° 8568 qui circule à cet instant sur la voie adjacente reçoit des projections de ballast et de débris qui endommagent sa face avant et brisent ses vitres frontales et plusieurs fenêtres. Deux des trémies déraillées se couchent, en engageant le gabarit de la voie 2, au moment du passage de la motrice de queue du TGV qui subit, de ce fait, des dommages significatifs sur sa face latérale.

L'accident ne fait pas de victime. La voie 1 est gravement détériorée sur près de 1,5 km et nécessite des travaux de réparation importants.

La cause directe de l'accident est le délestage en courbe de la roue droite de l'essieu de tête du 19^e wagon du train de marchandises impliqué.

Ce délestage est la conséquence d'un affaissement de la voie 1, d'une amplitude et d'une longueur inhabituelles, qui a engendré un ensemble de défauts de cette voie et, notamment, un défaut de nivellement transversal long d'une amplitude de 38 mm sur 30 m.

Ce défaut, qui est mal pris en compte par les systèmes de mesure de la géométrie de la voie et par les normes de maintenance, n'a pas conduit à imposer une limitation temporaire de vitesse. Combiné à d'autres défauts géométriques non-critiques, il a suffi à provoquer le délestage puis le soulèvement de la roue guidante d'un wagon trémie qui, lorsqu'il est chargé, possède une grande rigidité et un centre de gravité haut placé.

L'analyse de ce déraillement conduit le BEA-TT à formuler une recommandation portant sur les paramètres normés de suivi géométrique des voies.

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - L'accident

Le 20 octobre 2011 à 16h56, trois wagons trémies chargés de ballast du train SNCF n° 815761 circulant entre Bordeaux et Toulouse déraillent peu avant la gare de Valence d'Agen dans le Tarn-et-Garonne (82). Le TGV n° 8568 qui circule à cet instant sur la voie adjacente reçoit des projections de ballast et de débris qui endommagent sa face avant et brisent ses vitres frontales et plusieurs fenêtres. Deux des trémies déraillées se couchent, en engageant le gabarit de la voie 2, au moment du passage de la motrice de queue du TGV qui subit, de ce fait, des dommages significatifs sur sa face latérale.



Figure 1 : Face avant du TGV croiseur



Figure 2 : Les deux wagons trémies couchés engageant la voie 2 et le troisième wagon déraillé, non couché.

1.2 - La situation après l'accident

Les deux locomotives avec les 18 premiers wagons du train de marchandises sont restées sur les rails et sont immobilisées vers le km 161,100.

Les attelages sont rompus entre le 18^e et le 19^e wagon ainsi qu'entre le 20^e et le 21^e.

Les 19^e et 20^e wagons sont déraillés et couchés à la hauteur du km 160,400. Il s'agit de trémies ballastières à bogies respectivement immatriculées 80 87 977 9514-9 et 80 87 977 7788-1. Le 21^e wagon est du même type ; il porte le n° 80 87 977 7318-7 ; il est déraillé de son bogie avant mais n'est pas couché.

Les quatre derniers wagons sont sur les rails.

Les traces du déraillement et les dégâts qu'il a occasionnés à la voie sont visibles à partir du km 158,946, soit environ 1 450 m en amont du lieu où les wagons déraillés se sont immobilisés.

L'origine du déraillement se trouve dans la courbe à gauche de grand rayon située sur un remblai entre les agglomérations de Golfech et de Valence d'Agen. L'endroit où les deux wagons se sont renversés se trouve peu après l'aiguille prise en talon donnant accès à un embranchement industriel, à l'entrée de l'agglomération de Valence d'Agen.

Deux ruptures de rail sont observables au niveau de cet aiguillage ainsi qu'une troisième à environ 200 m en aval de l'appareil.



Figure 3 : Vue de la zone du déraillement

1.3 - Les secours et le bilan

Les secours ayant aussitôt été prévenus par des riverains, une première équipe de la brigade de gendarmerie de Valence d'Agen est arrivée sur les lieux 15 mn environ après l'accident. Elle a procédé à la protection du site et des deux convois impliqués, puis elle a effectué les constatations et réalisé les auditions des témoins.

Les pompiers du centre de Valence d'Agen sont arrivés sur place à 17h18 d'abord avec quatre véhicules, puis avec deux autres. Ils ont assuré la reconnaissance et la protection du site de l'accident. Leur intervention a pris fin à 19h19.

L'accident n'a pas fait de victime.

La voie 1 est gravement détériorée sur près de 1,5 km et nécessite des travaux de réparation importants.

La voie 2 est légèrement endommagée sur une quarantaine de mètres à l'endroit où les 19^e et 20^e wagons se sont couchés.

Le TGV a été sévèrement touché par le ballast et les débris projetés par les wagons déraillés. Sa face avant et les vitres frontales sont mitraillées. De nombreux impacts sont également visibles sur les faces latérales des caisses côté entrevoie et une cinquantaine de vitres sont cassées. La face latérale de la motrice de queue a été endommagée par les wagons déraillés engageant le gabarit. Des persiennes et un marchepied ont notamment été arrachés.

Les locomotives du train de marchandises, les 18 premiers wagons ainsi que les 4 derniers sont intacts. Les deux wagons couchés sont fortement endommagés. Le troisième wagon déraillé présente des avaries mineures.

1.4 - Les mesures prises après l'accident

Le TGV croiseur a été remis en marche à 18h12 et a rejoint la gare d'Agen à la vitesse réduite de 40 km/h.

De même, la tête du train de marchandises a été acheminée rapidement vers Montauban.

Dans un premier temps, les deux voies étant obstruées, le trafic a été complètement interrompu entre Agen et Montauban.

La voie 2 a été remise en circulation le lendemain du déraillement à 20h30 sous le régime de la voie unique temporaire (VUT).

La circulation sur la voie 1 a repris le 1^{er} novembre, avec une vitesse limitée à 40 km/h.

La circulation normale sur les deux voies a été rétablie le 10 novembre.

Les deux wagons qui se sont couchés sur les voies ont été acheminés à l'établissement de maintenance du matériel de Nîmes-Courbessac pour y être expertisés.

Les travaux de réparation de l'infrastructure ferroviaire ont été réalisés du 23 au 31 octobre. Ils ont notamment nécessité la réfection de la voie 1 sur plus de 1 500 m.

1.5 - L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances et du contexte de cet accident, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 24 octobre 2011 une enquête technique en application du deuxième alinéa de l'article 20 du décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif notamment aux enquêtes techniques après accident de transport terrestre (annexe 1).

L'enquêteur a eu communication des pièces de l'enquête préliminaire diligentée par le Procureur de la République de Montauban ainsi que des rapports d'intervention du service départemental d'incendie et de secours du Tarn-et-Garonne (SDIS 82).

Dans le cadre de l'enquête, il s'est rendu sur les lieux de l'accident pour examiner la voie et les wagons déraillés, puis sur l'embranchement de la zone industrielle voisine et sur les

faisceaux de Saint-Sulpice et de Saint-Jory pour examiner les autres wagons du train et leur chargement.

Les deux wagons déraillés et couchés ont été expertisés à l'atelier de Nîmes-Courbessac.

À cette occasion, l'enquêteur a rencontré les experts « *Wagons* » et « *Voie* » de la SNCF avec lesquels il a été convenu de demander au Centre d'Ingénierie du Matériel (CIM) de la SNCF de réaliser des simulations numériques afin de cerner le mécanisme et la dynamique du déraillement.

Les résultats de ces simulations figurent en annexe 3 du présent rapport.

2 - Contexte de l'accident

2.1 - La ligne ferroviaire de Bordeaux à Toulouse

Le déraillement s'est produit au km 158,946 de la ligne de Bordeaux à Sète, sur la section Agen – Montauban.

Il s'agit d'une ligne transversale importante qui supporte un trafic mixte de 40 trains par jour et par sens, incluant les TGV Paris – Toulouse. C'est une ligne à double voie, électrifiée en courant continu 1 500 V, équipée de la radio-sol-train (RST) et permettant une vitesse maximale de 160 km/h.

Sur la section Agen – Montauban, le cantonnement est assuré par le block automatique à permissivité restreinte (BAPR).

Dans le secteur de l'accident, la régulation du trafic est du ressort du centre opérationnel de gestion des circulations (COGC) de Toulouse.

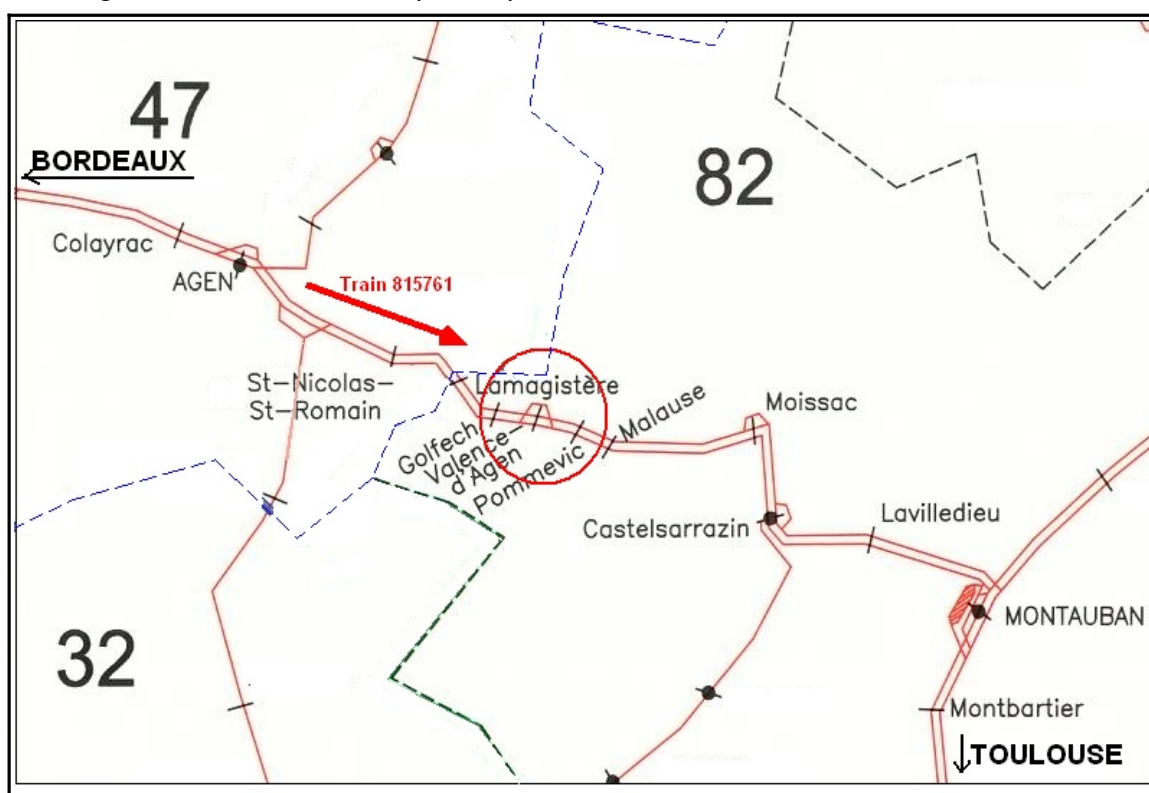


Figure 4 : Carte de la section de ligne d'Agen à Montauban

2.2 - Le train n° 815761

Le train n° 815761 est un train de fret de la SNCF exploité pour le compte d'Infrarail qui est le service de la branche SNCF-Infrastructure chargé, notamment, de l'approvisionnement des chantiers de maintenance de la voie.

Il circule entre les triages d'Hourcade (Bordeaux) et de Saint-Jory (Toulouse).

Il appartient à la catégorie MA 100 telle que définie dans la réglementation en vigueur sur le réseau ferré national.

Le jour de l'accident, il était composé de trois lots arrivés la veille à Hourcade :

- en tête, 12 wagons chargés de traverses en provenance de Bergerac (24) ;
- au milieu, 3 wagons chargés de rails en provenance de Saulon (21) ;
- en queue, 10 wagons trémies de type D12 chargés de ballast en provenance des carrières de Cusset (03).

Sa traction était assurée par la locomotive BB 22302 avec la BB 67617 en véhicule.

Sa masse totale était de 1 773 t et sa longueur de 476 m. Ces caractéristiques n'ont rien d'exceptionnel pour un train de cette catégorie.

Il avait quitté le triage d'Hourcade le 20 octobre à 15h04 ; il circulait à l'heure lors de l'accident.

2.3 - Les wagons déraillés



Figure 5 : Wagon de type Uas semblable aux wagons déraillés

Les trois véhicules déraillés sont des trémies à bogies de type Uas D12-6 appartenant à la SNCF. Ce sont des wagons très répandus, dédiés au transport de ballast pour les chantiers de voie.

Ils sont montés sur des bogies Y27 et présentent un volume utile de 39 ou 48 m³ selon les sous-séries. Ils admettent une masse totale de 80 t pour une tare de 21,5 t environ.

Du fait de leur géométrie et du matériau transporté, ils présentent, lorsqu'ils sont chargés de ballast, une grande rigidité torsionnelle et un centre de gravité haut placé.

Ces wagons, construits dans les années 1970, étaient à l'origine des wagons de service de la direction de l'Équipement de la SNCF. Ils sont maintenant affectés à Infrarail et c'est la direction du Matériel de la SNCF qui est en charge de leur maintenance.

3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - Les résumés des déclarations et des témoignages

Les résumés présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations et des témoignages dont ils ont eu connaissance, en retenant les éléments qui paraissent utiles à la compréhension des événements. Il peut donc y avoir des divergences entre les différents témoignages, ou avec des constats présentés par ailleurs, ou avec la description des faits retenue par les enquêteurs telle qu'elle apparaît au chapitre 4.

3.1.1 - Les déclarations du conducteur du train déraillé

À l'approche de Valence d'Agen, le conducteur ressent une insuffisance de traction qu'il attribue d'abord à la légère rampe qui existe à cet endroit. Ensuite, il entreprend les opérations de sondage en vue de déterminer l'origine de cette perte de vitesse.

À la vitesse d'environ 90 km/h, il ramène le manipulateur de traction à zéro, vérifie l'absence de fuite à la conduite générale de frein (CG), fait un essai de reprise de traction, puis ramène la traction à zéro.

Il s'apprête à observer son train par la fenêtre latérale lorsqu'il croise un TGV et perçoit simultanément le signal d'alerte radio (SAR).

Il déclenche un freinage d'urgence, abaisse le pantographe et allume le signal d'alerte lumineux (SAL).

Avant l'arrêt, il observe son train et ne voit rien d'anormal. Sa locomotive s'immobilise au km 161,050.

Une fois la conversation radio entre le conducteur du TGV et le régulateur terminée, il appelle ce dernier pour demander la protection afin d'aller visiter son train.

Lors de la visite, il constate une rupture d'attelage derrière le 18^e véhicule.

En allant vers la deuxième partie du train, il voit deux ballastières couchées sur la voie contiguë au km 160,030 [*en réalité au km 160,400*].

De retour dans sa cabine, il avise le régulateur de la situation.

3.1.2 - Les déclarations du conducteur du TGV croiseur.

À la sortie de Valence d'Agen, le conducteur croise un train de marchandises comportant des trémies ballastières. Il voit un nuage de poussière vers la queue de ce train ; il déclenche le freinage d'urgence, le SAR et le SAL et se protège sous le pupitre.

Arrivant au niveau de ce nuage, son train reçoit de multiples projections de ballast.

Le TGV s'arrête avec sa cabine de tête au km 159,200. Le conducteur appelle le régulateur pour l'aviser de l'incident et lui demander la protection pour visiter son train.

Lors de la visite il constate les dégâts causés par les projections de ballast sur l'ensemble de la rame et, par les wagons déraillés, sur la motrice de queue.

Il fait le nécessaire pour pouvoir reprendre sa marche à vitesse réduite.

À 18h15, le conducteur reprend sa marche sans dépasser 40 km/h. Il arrive à 19h05 à Agen où les voyageurs sont transbordés et où la rame accidentée est garée.

3.2 - L'exploitation des enregistrements de la radio sol-train

L'écoute des enregistrements des échanges radio confirme les déclarations des conducteurs.

On comprend notamment que le conducteur du TGV croiseur n'est pas conscient que le train de marchandises est déraillé. Il pense que les projections qu'il perçoit sont dues à une perte de chargement d'une trémie ballastière.

De même, le conducteur du train de marchandises, lorsqu'il s'arrête après avoir perçu l'alerte radio émise par le conducteur du TGV et entendu sa conversation avec le régulateur, ne présume pas encore que son train a déraillé et suppose qu'il est confronté à une perte de chargement.

Lorsque les conducteurs demandent la protection pour aller à la visite de leur train, le régulateur leur demande leur numéro de téléphone portable avant de prendre contact avec les gares encadrantes. La communication de ces numéros et leur vérification prend 48 secondes dans un cas et 10 secondes dans l'autre. Il s'ensuit un retard dans la prise des mesures de protection qui est sans conséquence dans le cas présent, les deux voies étant bloquées par les trains arrêtés.

Les communications radio sont, par ailleurs, de bonne qualité : les interlocuteurs s'annoncent correctement et utilisent un langage clair ; le régulateur collationne les informations importantes qui lui sont données.

Une fois que les conducteurs ont communiqué leurs numéros de téléphone portable au régulateur, une partie des échanges se fait par téléphone GSM et n'est pas enregistrée, ce qui rend difficile la reconstitution de la succession des opérations.

3.3 - L'examen des enregistrements graphiques

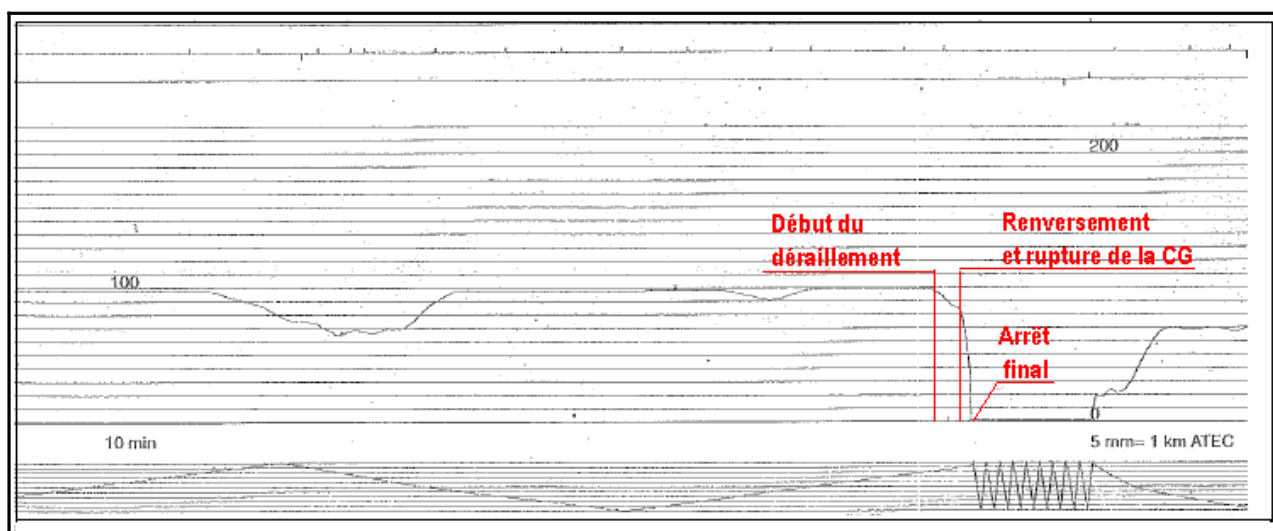


Figure 6: Extrait de la bande graphique du train n° 815761

Il apparaît que le train n° 815761 roulait à 100 km/h en amont du lieu du déraillement, puis on observe un ralentissement marqué sur 1 000 m environ suivi d'un ralentissement plus brutal sur 500 m environ jusqu'à l'arrêt.

L'allure très rectiligne du graphe des vitesses suggère une utilisation du système de vitesse imposée alors qu'elle est proscrite par la SNCF sur ses trains de marchandises.

Cette règle vise à éviter des efforts longitudinaux excessifs dans les attelages sur les lignes à profil difficile. Tel n'est pas le cas de la ligne Bordeaux – Sète dans le secteur concerné. L'utilisation de ce système n'a donc pas de lien causal avec l'accident.

3.4 - La formation et la vérification du train n° 815761

Les éléments fournis par le triage d'Hourcade montrent que le train a été formé dans la matinée du 20 octobre à partir de trois lots arrivés la veille de Bergerac, Saulon et Cusset.

Un essai de frein complet a ensuite été effectué sur la voie 93, entre 11h30 et 12h00.

La locomotive a été mise en tête à 14h11 et un essai de continuité a été réalisé.

Ce train n'a pas fait l'objet d'une reconnaissance de l'aptitude au transport (RAT).

De fait, la procédure SNCF FR-0033 relative à la vérification des envois et des wagons permet de se dispenser de cette opération pour les trains dont les wagons n'ont pas été triés à la gravité. Cette dispense est toutefois subordonnée à la réalisation préalable d'une étude visant à vérifier, pour chaque train, que l'aptitude au transport des véhicules ne risque pas d'être compromise lors des manœuvres ou pendant les stationnements.

Dans le cas présent, il n'apparaît pas qu'une telle étude ait été effectuée. En effet, l'évaluation du niveau global de sécurité de type GAME¹ qui a été réalisée en juillet 2010 lors de modification de la technique de tri pratiquée sur le site d'Hourcade ne répond pas aux exigences de la procédure FR-0033 car elle a un caractère trop général et ne prend notamment pas en compte les conditions locales d'exploitation, le délai habituel de stationnement des lots constituant les trains, la sûreté et l'environnement du site.

3.5 - La surveillance du train en marche

Les différents postes chargés d'assurer la surveillance des trains en marche (STEM) n'ont constaté aucune anomalie lors du passage du train n° 815761, notamment les postes 1 et 4 d'Agen qui sont les derniers postes de STEM situés avant le lieu de l'accident, à 25 km environ de celui-ci.

De même le détecteur de boîtes chaudes (DBC) implanté au km 127, à 32 km en amont du lieu du déraillement, n'a détecté aucun échauffement anormal.

3.6 - Le matériel roulant

Les schémas ci-après visualisent les principaux organes des bogies et des liaisons caisse-bogie évoqués dans le présent rapport et explicitent les règles de numérotation permettant de les repérer sur les wagons.

1 Globalement Au Moins Equivalent. Les études GAME visent à démontrer que le niveau global de sécurité n'est pas diminué lors d'une modification technique ou organisationnelle.

3.6.1 - Les constats effectués sur les lieux de l'accident

L'examen des deux wagons couchés

Sur aucun des deux wagons qui se sont couchés, on n'observe d'indice de chauffage de boîte d'essieu ou de dysfonctionnement du frein.

Le wagon n° 80 87 977 9514-9

Ce wagon était situé en 19^e position dans la rame. Il circulait avec son extrémité 2 en avant. Le flanc droit dans le sens de la marche, sur lequel il s'est couché, correspond donc à son côté impair.

Il est équipé de bogies Y27 à lisoirs fixes². Ce type d'appui latéral est connu pour ne pas conférer un comportement dynamique optimal aux wagons qui en sont dotés.

Sur le bogie 2, on observe de nombreuses traces fraîches de talonnements sur le dessus des boîtes d'essieu, signe que ce bogie a circulé assez longtemps en étant déraillé.

Les boudins et les tables de roulement des essieux 5-6 et 7-8 sont fortement marqués, signe d'une circulation sur le ballast et les traverses sur une distance significative.

Au niveau du lisoir 6-8, le glissoir³ de caisse présente une surface rugueuse avec des arrachements de métal que l'on n'observe pas sur le lisoir 5-7.

Sur le bogie 1, les boîtes d'essieu sont moins marquées.

Les roues sont moins marquées par le roulement sur le ballast que celles du bogie 2, mais elles présentent quelques empreintes profondes imputables à des chocs violents.



Figure 10 : Amortisseur Lenoir de la roue 2 du premier wagon couché

2 Les lisoirs fixes sont constitués par un assemblage mécanique rigide. Dans ce cas, le contact entre les lisoirs de caisse et de bogie n'est pas constant. Il dépend notamment des jeux aux lisoirs, des accélérations latérales subies par le véhicule, du dévers et du gauche de la voie.

3 Le glissoir est la plaque d'usure du lisoir, située à sa surface.

Les deux anneaux de l'amortisseur Lenoir de la suspension primaire de la roue 2 sont manquants. L'aspect brillant des tourillons laisse supposer que la perte de ces anneaux est récente et pourrait être une conséquence du déraillement, bien qu'ils n'aient pas pu être retrouvés sur place.

Les cotes des essieux sont conformes aux normes et éloignées des limites admissibles.

Le graissage des attelages et de certains tampons est faible.

Le wagon n° 80 87 977 7788-1

Ce wagon se trouvait en 20^e position dans la rame. Il circulait avec son extrémité 1 en avant et s'est couché sur son côté pair.

Il est équipé de bogies Y27 à lisoirs élastiques.

Sur les bogies, on ne constate pas de trace de talonnement sur le dessus des boîtes.

Les boudins et les tables de roulement des roues présentent des marques d'endommagement, mais elles sont moindres que celles observées sur le wagon précédent.

Sur le bogie 1, les sièges et les ressorts des lisoirs sont manquants, mais ils ont été retrouvés sur les lieux.

Les dimensions des essieux sont conformes aux normes et éloignées des valeurs limites admissibles.

Le graissage des attelages et de certains tampons est faible. Les semelles de frein sont très usées.

Synthèse

Il ressort nettement des constats précédents que le 19^e wagon a déraillé en premier et qu'il a circulé déraillé sur la plus grande distance. Ensuite, l'aiguille de l'embranchement prise en talon l'a écarté côté entrevoie, entraînant le déraillement du wagon suivant.

Dans la suite des investigations sur le matériel roulant, on ne s'intéressera donc qu'au wagon n° 80 87 977 9514-9.

La différence entre les endommagements constatés sur chacun de ses bogies inclinent à penser que c'est le bogie 2, situé en tête du mouvement, qui a déraillé en premier.

L'examen du reste du train

Sur aucun des autres wagons du train, il n'est observé d'indice de chauffage de boîte d'essieu ou de dysfonctionnement du frein.

Les poignées du système de freinage sont en bonne position.

Les chargements sont correctement réalisés. Le ballast transporté est bien réparti dans les wagons tant longitudinalement que transversalement.



Figure 11 : Vue du centrage du ballast sur les wagons trémies du train

On n'observe pas d'indice du surcharge. Le pesage de vérification effectué le 26 octobre sur plusieurs wagons de ballast de ce train confirme, en outre, que la masse totale de chacun d'eux est comprise entre 72,4 t et 73,65 t, bien inférieure à la charge maximale de 80 t admise pour ces wagons.

3.6.2 - Le suivi de la maintenance du wagon n° 80 87 977 9514-9

Aucune réparation accidentelle significative n'est enregistrée au cours des 15 dernières années.

Les dernières opérations d'inspection et de maintenance préventive classées par niveau croissant sont les suivantes :

- une reconnaissance de l'aptitude au transport à Cusset le 19 octobre 2011 ;
- une visite technique à Saint-Pierre-des-Corps le 8 juillet 2011 ;
- une opération de maintenance de type « Autres Travaux Systématiques à 24 mois » à Saint-Pierre-des-Corps le 9 août 2011. Il s'agit d'une opération concernant essentiellement la vérification et le graissage des mécanismes des trappes de déchargement et des organes de choc et traction. Elle inclut un examen visuel après intervention dont le niveau est celui d'une visite technique ;
- une révision à 6 ans (REV 6) à l'atelier de Tergnier le 14 janvier 2010.

Lors de cette dernière révision, diverses interventions et différents échanges de pièces sans rapport avec la tenue en ligne du wagon ont été réalisés. Des interventions sur les lisoirs de caisse ont également été effectuées.

Les interventions sur les liaisons caisse-bogie étant susceptibles de compromettre l'aptitude du wagon à franchir les courbes et les gauches de voie si les jeux aux lisoirs ne sont pas correctement rétablis, la vérification de la conformité de ces jeux aux critères fixés par la fiche de maintenance SNCF VR7-504 doit être systématiquement réalisée avant la remise en service du wagon.

Les jeux mesurés doivent être, en outre, enregistrés sur la fiche de sortie d'atelier du wagon qui est archivée par l'établissement réparateur.

Dans le cas présent, cette fiche n'a pu être communiquée au BEA-TT car les règles internes de l'établissement de Tergnier ne prévoient une conservation de ces documents que pendant un an. Ces règles ne sont pas conformes à la directive SNCF MA-0023 qui prescrit que de tels documents doivent être conservés au moins jusqu'à l'opération suivante de même rang.

En résumé, le wagon était à jour de ses opérations de maintenance préventive, mais la perte de la traçabilité de la mesure des jeux aux lisoirs qui était requise lors de sa dernière révision ne permet pas d'avoir l'assurance qu'ils ont effectivement été vérifiés, ni de connaître leur répartition.

3.6.3 - L'expertise effectuée à l'atelier de Nîmes-Courbessac

Le wagon en cause a été acheminé à l'atelier de Nîmes-Courbessac pour y être soumis à une expertise approfondie.

L'examen des détériorations des essieux confirme que ceux du bogie 2 sont les plus marqués. Il est donc probable que c'est ce bogie qui a déraillé en premier.



Figure 12 : Vue de l'essieu 7-8 du bogie 2 lors de l'expertise à Nîmes-Courbessac

On observe également les traces de talonnage les plus fortes sur le dessus de la boîte d'essieu n° 8 et sur la face inférieure du longeron correspondant.



Il est donc très probable que c'est l'essieu 7-8 qui a déraillé en premier et qui a parcouru le plus de distance en roulant sur le ballast et les traverses. Il s'agit de l'essieu de tête du wagon concerné, dans le sens de la marche.

Après que le wagon a été remis sur ses bogies, il a été procédé à la mesure de ses jeux aux lisoirs afin de vérifier leur conformité aux règles en vigueur et d'apprécier la capacité de ce wagon à s'inscrire dans les gauches des voies tout en limitant le roulis de la caisse.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Lisoir	1-3	2-4	5-7	6-8	Valeurs admises en révision	Valeurs admises en entretien courant
Jeu mesuré (mm)	7	15,5	11,5	10		
Jeu moyen (mm)	11,25		10,75		entre 11 et 13 mm	entre 6 et 13 mm

Il en ressort que ces jeux sont très corrects au regard des règles en vigueur.

3.6.4 - *Premières conclusions concernant le matériel roulant*

Les constats faits sur le matériel roulant ne mettent pas en évidence de dysfonctionnement, d'avarie ou de perte de pièce susceptible d'avoir provoqué le déraillement. Les caractéristiques géométriques des organes de roulement et des liaisons caisse-bogie du wagon qui a déraillé en premier sont conformes aux normes en vigueur et éloignées des limites admises en exploitation.

3.7 - L'infrastructure ferroviaire

3.7.1 - Les éléments constitutifs de la voie

Dans le secteur concerné par le déraillement, la voie a fait l'objet d'une modernisation en plusieurs étapes qui se sont échelonnées de 1999 à 2008.

Elle est maintenant constituée de longs rails soudés de type U50, datant de 1999, posés sur des traverses en béton bi-blocs dont une partie date de 1998 et le reste de 2008.

Au final, il s'agit d'une voie moderne et relativement récente.

3.7.2 - Les règles de classement des défauts géométriques des voies

Les caractéristiques géométriques des voies sont suivies au travers d'un certain nombre de paramètres définis au niveau international, notamment par l'euronorme EN 13 848-1, et repris dans les documents nationaux et internationaux.

Les définitions des paramètres évoqués dans le présent rapport sont données dans le tableau ci-après.

Paramètre	Définition	Observations
Nivellement longitudinal (profil en long)		
Niv	Nivellement longitudinal ponctuel mesuré sur base ≤ 15 m	Mesuré par les voitures Mauzin par file de rails
Nall	Nivellement longitudinal ponctuel mesuré sur base allongée de 20 à 30 m	Non contrôlé sur les lignes à vitesse maximale ≤ 160 km/h
Nivellement transversal (dévers et gauche)		
dp	Dévers prescrit <i>C'est la valeur prévue sur le plan</i>	
dA	Dévers réel (au point A) <i>C'est le dévers en charge mesuré</i>	Non mesuré par les voitures Mauzin
Ed	Écart de dévers mesuré sur base de 10 m <i>C'est la différence entre le dévers réel au point A et la moyenne des dévers de deux points B et C situés à 5 m de part et d'autre de A.</i> $Ed = dA - 1/2 (dB + dC)$	Mesuré par les voitures Mauzin
G3	Gauche mesuré sur base de 3 m <i>C'est la différence entre les dévers réels de deux points espacés de 3 m</i>	Mesuré par les voitures Mauzin
G9	Gauche mesuré sur base de 9 m	Non exploité
Dressage (tracé en plan)		
Dres	Dressage ponctuel mesuré sur base de 10 m	Mesuré par les voitures Mauzin par file de rails
Dall	Dressage ponctuel mesuré sur base allongée de 20 à 30 m	Non contrôlé sur les lignes à vitesse maximale ≤ 160 km/h

Les procédures SNCF IN-2640 et IN-1895, en vigueur sur le réseau ferré national, définissent pour chacun de ces paramètres des seuils appelés valeur d'alerte (VA), valeur d'intervention (VI) et valeur de ralentissement (VR), établis en fonction de la catégorie de vitesse et de trafic de la voie concernée.

Les valeurs d'alerte sont les seuils à partir desquels il y a lieu d'exercer une surveillance particulière des défauts.

Les valeurs d'intervention sont les seuils à partir desquels une intervention corrective à court terme est à prévoir, les délais d'intervention étant précisés en fonction des défauts constatés.

Les valeurs de ralentissement sont les seuils à partir desquels la mise en place de restrictions de circulation devient nécessaire, notamment des limitations temporaires de vitesse.

Le principe sous-tendant ce classement est qu'un train, dont les véhicules respectent les normes de conception et de maintenance et circulant dans des conditions normales de vitesse et de chargement, ne soit pas susceptible de dérailler sur des défauts de voie dont les valeurs des paramètres géométriques sont inférieures aux valeurs de ralentissement.

Le tableau ci-après donne les valeurs d'alerte, d'intervention et de ralentissement applicables aux lignes dont la vitesse maximale est comprise entre 140 et 160 km/h et, entre parenthèses lorsqu'elles sont différentes, celles qui s'appliquent aux lignes dont la vitesse maximale est comprise entre 80 et 100 km/h.

Paramètres (en mm)	VA	VI	VR
Nivellement longitudinal (Niv)	$8 \leq \text{Niv} < 12$ ($11 \leq \text{Niv} < 17$)	$12 \leq \text{Niv} < 22$ ($17 \leq \text{Niv} < 24$)	$22 \leq \text{Niv}$ ($24 \leq \text{Niv}$)
Dévers (Dp-DA)	$10 < \text{Dp-DA} \leq 15$	$15 < \text{Dp-DA}$	pas de VR
Écart de dévers (Ed)	$9 < \text{Ed} \leq 12$	$12 < \text{Ed} \leq 18$	$18 < \text{Ed}$
Gauche court (G3)	$7 < g3 \leq 11$ ($8 < g3 \leq 13$)	$11 < g3 \leq 18$ ($13 < g3 \leq 21$)	$18 < g3$ ($21 < g3$)
Gauche long (G9)	Non-spécifié dans l'IN-2640 ; Valeur admissible selon la STI ⁴ : 47 mm		
Dressage (Dres)	$7 \leq \text{Dres} < 9$ ($12 \leq \text{Dres} < 14$)	$9 \leq \text{Dres} < 17$ ($14 \leq \text{Dres} < 21$)	$17 \leq \text{Dres}$ ($21 \leq \text{Dres}$)

3.7.3 - Le suivi des caractéristiques de la voie

L'évolution dans le temps des paramètres géométriques

Sur la ligne concernée, il est effectué deux enregistrements par an des paramètres des voies à l'aide d'une voiture de mesures Mauzin.

Le système de traitement synthétique (STS) équipant ces voitures permet d'éditer les listes des défauts dépassant les seuils fixés par les normes de maintenance. Ces listes sont transmises aux établissements « Voie » concernés en même temps que les bandes des enregistrements graphiques correspondants.

Le dernier enregistrement Mauzin sur la section de voie concernée a été réalisé le 6 octobre 2011, soit 2 semaines avant l'accident.

4 Spécification Technique d'Interopérabilité

À la vue de cet enregistrement, l'unité « Voie » concernée a effectué, le 19 octobre, une visite sur le terrain et un relevé manuel qui lui a permis de localiser les défauts signalés par le STS et de classer en VI un défaut de nivellement longitudinal non signalé.

Le tableau ci-après résume les valeurs maximales des paramètres relevées par les enregistrements Mauzin sur cette voie entre le km 158,800 et le km 159,200, depuis 2008, date de la dernière phase des opérations de modernisation qui y ont été effectuées. Sur ce même tableau figure également le relevé manuel effectué le 19 octobre.

Paramètre		Mauzin 25/09/08	Mauzin 19/03/09	Mauzin 24/09/09	Mauzin 25/03/10	Mauzin 30/09/10	Mauzin 24/03/11	Mauzin 06/10/11	Manuel 19/10/11
Nivellement longitudinal (Niv)	Rail G	3	3	3	3	6	4	5 *	13 (VI) *
	Rail D	3	4	4	4	5	5	5	
Écart de dévers (Ed)		2,5	3	3	3	8	5	9,9 (VA)	
Gauche court (G3)		3	3	3	4	8,7 (VA)	8,8 (VA)	12,4 (VI)	12,4 (VI)
Gauche long (G9)									
Dressage (Dres)		3	2	3	7,1 (VA)	7,1 (VA)	6	10,3 (VI)	
Écartement (min et max)		1 435 1 439	1 436 1 441	1 435 1 440	1 435 1 441	1 435 1 443	1 435 1 442	1 436 1 445	
Les valeurs sont en millimètres ; les cases non renseignées correspondent à des paramètres non relevés.									
(*) Les mesures de nivellement longitudinal du 6 octobre et du 19 ne sont pas directement comparables, car effectuées sur des bases et avec des méthodes différentes. Les tableaux de conversion montrent que ces deux mesures sont cohérentes pour un défaut long.									

On observe tout d'abord que les paramètres Dres et G3 ont atteint respectivement leurs valeurs d'alerte dès mars et septembre 2010.

Ces paramètres sont passés en valeur d'intervention en octobre 2011 alors que l'écart de dévers Ed atteignait à son tour la valeur d'alerte.

La différence de classement du nivellement longitudinal entre le 6 et le 19 octobre est due au fait que les seuils d'alerte, d'intervention et de ralentissement (VA, VI, VR), qui sont définis en cohérence avec les données fournies par le système de mesure des voitures Mauzin, sont également utilisés lorsqu'il est procédé à des mesures manuelles bien que celles-ci donnent des valeurs nettement plus élevées pour les défauts de grande longueur.

L'analyse visuelle des enregistrements graphiques

L'expertise visuelle des enregistrements graphiques des voitures Mauzin permet d'aller plus loin que la simple exploitation des listes de défauts éditées par le STS.

L'analyse de l'enregistrement graphique du 6 octobre 2011 montre une simultanéité de défauts sur l'ensemble des paramètres enregistrés dans la zone située entre les km 158,900 et 158,950.

Notamment, les valeurs et les longueurs respectives des défauts de gauche, d'écart de dévers et de nivellement longitudinal mettent en évidence un affaissement de la file gauche dont la longueur est supérieure à la base de mesure de la voiture Mauzin et qui n'est donc pas correctement évalué par celle-ci.

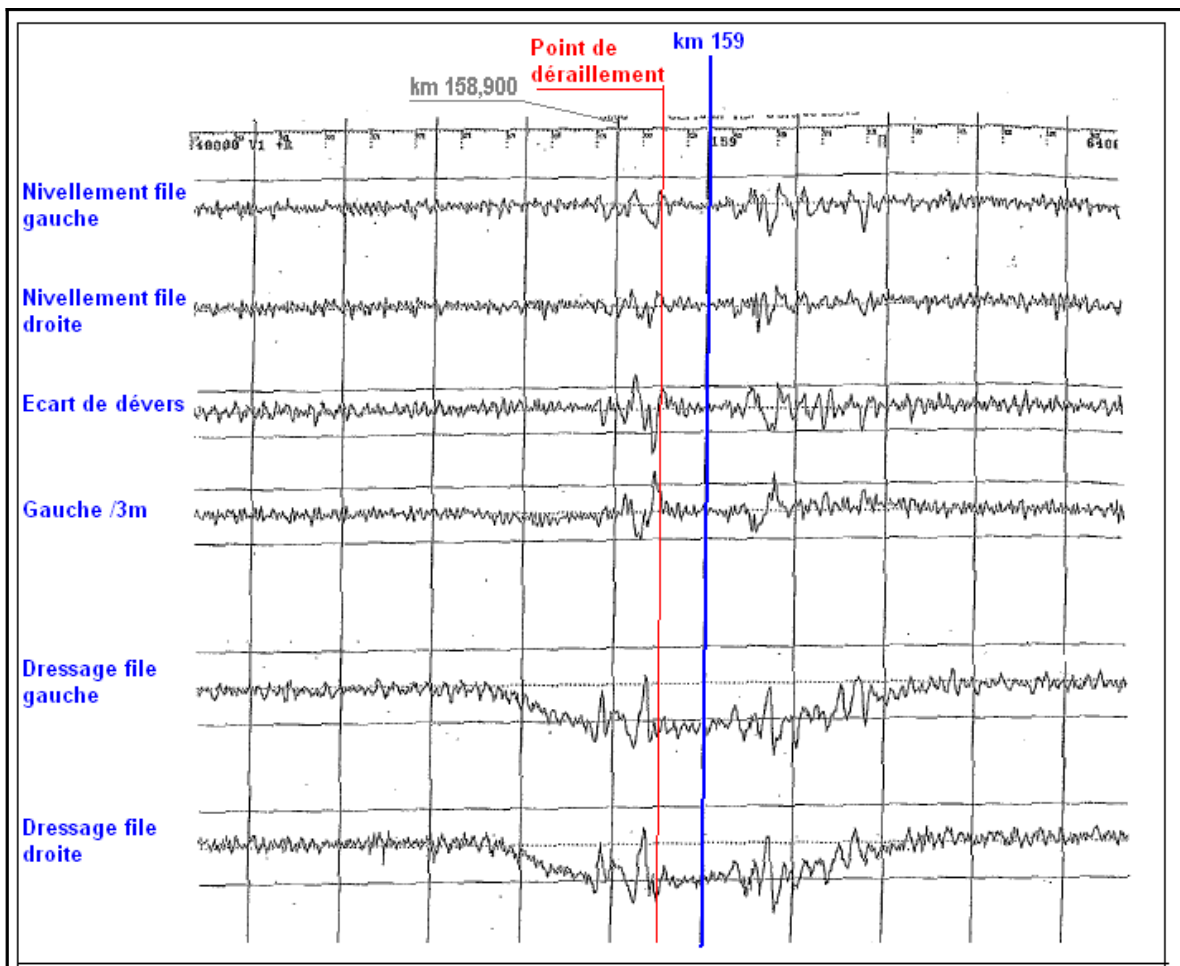


Figure 14 : Extrait de l'enregistrement Mauzin du 6 octobre 2011

Les tournées en train de l'encadrement « Voie »

Les tournées en train sont destinées à détecter et à localiser approximativement les défauts les plus importants ainsi que ceux où une évolution rapide est constatée.

Lors des tournées en train des 18 mars, 10 mai et 6 septembre 2011, le dirigeant « Voie » avait signalé un défaut géométrique à surveiller sur la voie 1 au niveau du km 158,900.

Conclusion sur le suivi des caractéristiques de la voie

Les dispositions concernant le suivi des caractéristiques de la voie ont été respectées. Elles ont permis de détecter un ensemble de défauts géométriques dans la zone comprise approximativement entre les km 158,900 et 158,950. Toutefois, les valeurs des paramètres mesurées tant par les voitures Mauzin que manuellement la veille du déraillement étaient encore loin d'atteindre les seuils imposant la mise en place d'un ralentissement des circulations.

3.7.4 - Les constatations effectuées sur le terrain après l'accident

L'examen des traces laissées par les véhicules sur les rails, sur les traverses et sur les différents équipements de la voie, montre que le déraillement s'est produit du côté de l'entrevoie au km 158,946 dans une zone de pleine courbe de grand rayon après une montée de roue sur le rail droit au km 158,939.

Ces traces laissent penser qu'un deuxième essieu a probablement déraillé également.

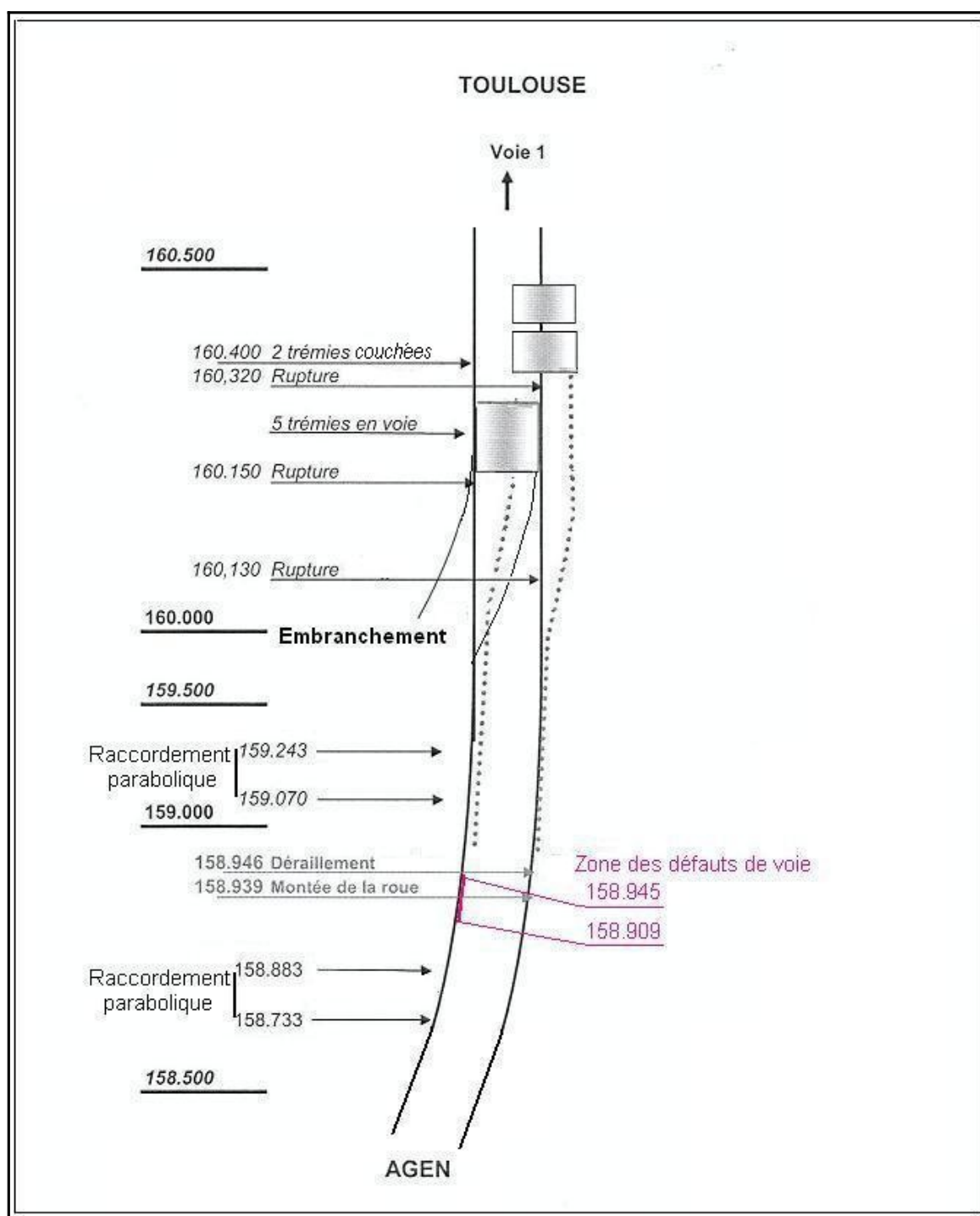


Figure 15 : Positionnement des éléments et des indices relevés sur la voie 1 dans le secteur du déraillement

Les essieux déraillés ont d'abord roulé sur les blochets en béton des traverses bi-blocs sur 15 m environ, puis se sont décalés vers la voie 2 en roulant avec la roue gauche sur les entretoises des traverses et la roue droite dans l'entrevoie.

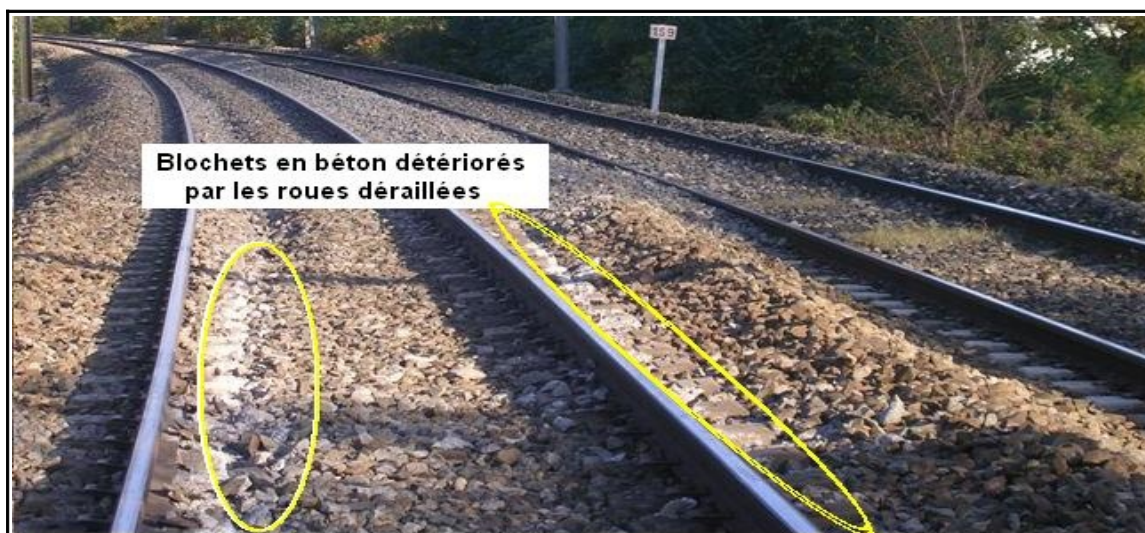


Figure 16 : Traces de roulement sur les blochets

Un affaissement du rail gauche est visible à l'œil nu dans la zone qui précède immédiatement le déraillement.



Figure 17 : Vue de la voie 1 dans la zone du déraillement

Deux ruptures de rail et des traces de choc sur les composants de l'appareil de voie sont visibles au niveau de l'aiguillage pris en talon, situé au km 160,000. Une troisième rupture de rail est visible en aval de cet appareil.

3.7.5 - Les relevés géométriques effectués après l'accident

Les résultats obtenus

Le 20 octobre 2011, après l'accident, il a été procédé, sur les 50 m précédant le point de montée de la roue qui a déraillé en premier, à un relevé exhaustif de l'ensemble des paramètres géométriques de la voie 1. Une synthèse de ce relevé est donné en annexe 2.

Il en ressort que la zone du déraillement est située dans une courbe à gauche de grand rayon (1 389 m) se développant sur une longueur de 510 m entre deux alignements et que le point de montée de la roue se trouve en pleine courbe, 56 m après la fin du raccordement parabolique d'entrée.

Les valeurs des paramètres géométriques mesurées après l'accident sont cohérentes avec celles enregistrées par la voiture Mauzin lors de sa tournée du 6 octobre et celles mesurées par l'unité « Voie » le 19 octobre. Il n'y a donc pas eu de dégradation soudaine de la voie entre le 19 octobre et le moment du déraillement.

Les valeurs mesurées après l'accident des paramètres les plus significatifs sont détaillées dans le tableau ci-après

Paramètre	Valeur	Classement ⁽¹⁾	Remarques
Nivellement longitudinal (Niv) sur 15 m	13 mm sur le rail gauche	VI 1 mois	Serait VA pour une vitesse de ligne de 100 km/h
Nivellement longitudinal sur 30 m	51 mm sur le rail gauche ⁽²⁾	Paramètre non normé	
	13 mm sur le rail droit		
Dévers (Dp-DA)	38 mm (en excès de dévers)	VI 2 mois	
Gauche court (G3)	12 mm	VI 2 mois	Serait VA pour une vitesse de ligne de 100 km/h
Gauche long (G9)	28 mm	Paramètre non normé	Valeur admissible selon la STI : 47 mm
Dressage (Dres)	11 mm	VI 1 mois	Ne serait ni VI ni VA pour une vitesse de ligne de 100 km/h
(1) Pour une vitesse de ligne de 160 km/h			
(2) Défaut mesuré sur une base de 30 m correspondant au défaut de 13 mm mesuré sur une base de 15 m.			

L'application du critère « Margut »

En application d'une recommandation formulée par le BEA-TT à l'issue de l'enquête sur le déraillement survenu le 13 juin 2006 à La-Ferté-sur-Chiers, près de la gare de Margut, la SNCF a mis au point un algorithme d'exploitation des relevés Mauzin visant à rechercher les défauts périodiques de dressage susceptibles d'engendrer des oscillations dangereuses de certains véhicules.

L'application de cet algorithme au cas de Valence d'Agen a donné un résultat négatif, les défauts observés n'ayant pas de caractère périodique.

3.7.6 - La stabilité du remblai

L'origine du déraillement, au km 158,946, et la zone des défauts géométriques de la voie 1 située entre les km 158,909 et 158,945, se trouvent sur un ouvrage en terre appelé « remblai de Coupet » qui s'étend du km 158,000 au km 159,450.

Cet ouvrage dont la hauteur maximale atteint 6 m, est constitué d'argile avec une couche intermédiaire de sable argileux.

Il a fait l'objet de plusieurs opérations de confortement entre 1911 et 1986.



Figure 18 : Vue du remblai côté voie 1 à la hauteur du point de déraillement

Historiquement, cette zone était connue pour nécessiter des reprises fréquentes du nivellement de la voie, notamment lors des périodes pluvieuses ou très sèches. Le point où le cumul de ces reprises était maximal est situé au km 159, 075.

Ceci a conduit la SNCF en 1999 à classer ce remblai en Ouvrage en Terre Sensible (OTS) entre les km 159,000 et 159,150.

La visite de cet ouvrage réalisée après l'accident n'a pas mis en évidence d'indices de désordres qui pourraient être à l'origine d'un mouvement brutal et important du talus. Toutefois, à ce stade, il n'est pas exclu que la plate-forme ait pu jouer un rôle dans l'apparition des défauts géométriques de la voie. Un suivi périodique rapproché du nivellement de la voie a été mis en place par la SNCF. Au moment de la rédaction du présent rapport, ce suivi a donné un résultat négatif, les paramètres de nivellement restant constants.

3.7.7 - Premières conclusions concernant l'infrastructure

À ce stade, pour ce qui concerne l'infrastructure ferroviaire, l'enquête n'a mis en évidence aucun écart par rapport aux règles en vigueur sur le réseau ferré national.

La géométrie de la voie présente, immédiatement en amont du point de montée de la roue qui a déraillé en premier, un certain nombre de défauts significatifs et simultanés dont aucun n'est proche des critères imposant le ralentissement des circulations.

En vertu du principe évoqué au point 3.7.2, sur une telle voie, un wagon dans un état de maintenance correct et circulant dans des conditions normales n'aurait pas dû dérailler.

Toutefois, la présence d'un affaissement du rail gauche d'une amplitude inhabituelle conduit à s'interroger sur les effets dynamiques d'un tel défaut, conjugué avec les autres défauts relevés dans la même zone, sur des wagons ayant certaines caractéristiques de rigidité et de hauteur de leur centre de gravité.

3.8 - Les simulations numériques des effets des défauts géométriques constatés

Le Centre d'Ingénierie du Matériel de la SNCF (CIM) a effectué des simulations du comportement dynamique d'un wagon ayant les caractéristiques techniques et le chargement de celui qui a déraillé et circulant sur une voie dont la géométrie est identique à celle relevée dans la zone du déraillement. La synthèse en est donnée en annexe 3.

La simulation n° 125 montre que les défauts constatés sur la voie, en présence d'un wagon rigide avec un centre de gravité haut placé, provoquent, pour une vitesse de circulation proche de 100 km/h, le délestage de 95 % de la charge verticale de la roue guidante⁵ du premier bogie. Elle met également en lumière l'existence d'une force transversale significative se traduisant par un rapport Y/Q ⁶ atteignant 1,55 ce qui conduit au soulèvement de cette roue et donc, potentiellement, à son déraillement.

Ce résultat est important puisqu'il tend à montrer qu'un déraillement serait possible dans le cas considéré, alors même que les caractéristiques de la voie et du véhicule sont à l'intérieur des limites admises par les normes de maintenance.

Il conduit à s'interroger sur la pertinence et la complétude de ces normes.

Les simulations effectuées ont ensuite visé à estimer l'influence de différentes caractéristiques du wagon et de la voie sur les valeurs des indicateurs du risque de déraillement que sont le pourcentage de délestage des différentes roues, le rapport Y/Q de la roue guidante et son soulèvement.

Les simulations portant sur les caractéristiques du wagon

En conclusion de son rapport d'enquête sur le déraillement survenu le 24 novembre 2009 à Orthez, le BEA-TT avait recommandé de compléter les critères de vérification des jeux aux lisoirs et suggéré d'introduire un critère portant sur les moyennes diagonales de ces jeux.

Nous avons vu au point 3.6.3 que les moyennes par bogie des jeux aux lisoirs du wagon concerné sont homogènes et se trouvent très proches des valeurs admises en révision et largement dans la fourchette des valeurs admises en entretien courant. En revanche, les moyennes diagonales sont de 8,5 mm pour la diagonale 1-3 / 6-8 et de 13,5 mm pour la diagonale 2-4 / 5-7, signe que le jeu n'est pas parfaitement réparti.

La simulation n° 126 a évalué l'influence de cette répartition sur le risque de déraillement dans le contexte de l'accident de Valence d'Agen. Il en ressort que, dans le cas considéré, la disparité dans la répartition du jeu aux lisoirs n'a que peu d'influence.

Nous avons vu également au point 3.6.1 que les deux anneaux de l'amortisseur Lenoir de la roue 2 étaient manquants. L'aspect brillant des tourillons permet de penser que la perte de ces anneaux est une conséquence et non pas une cause du déraillement. Toutefois, le fait que ces anneaux n'aient pas été retrouvés sur les lieux de l'accident laisse subsister un doute.

La simulation n° 130 montre que l'absence de ces anneaux avant le déraillement n'aurait eu qu'une influence négligeable sur sa survenue.

5 La roue guidante est la roue du premier essieu située du côté extérieur de la courbe.

6 Conventionnellement la force verticale appliquée au contact roue-rail est appelée Q et la force transversale est appelée Y . Les normes de dynamique ferroviaire prescrivent un rapport Y/Q inférieur à 0,8 pour éviter tout risque de déraillement.

Les simulations portant sur les caractéristiques de la voie

La simulation n° 152 vise à évaluer l'influence du défaut de nivellement transversal long causé par l'affaissement du rail gauche. Elle montre qu'une réduction de moitié de l'amplitude de ce défaut aurait conduit à un délestage de la roue guidante limité à 42 %, un rapport Y/Q divisé par 3 et un soulèvement de la roue nul. Dans ces conditions le risque de déraillement aurait été inexistant.

La simulation n° 154 montre qu'une réduction de moitié du défaut de dressage n'a pas d'effet favorable sur le risque de déraillement bien que ce défaut serait alors inférieur à la valeur d'alerte.

Ces simulations permettent de conclure que le défaut de nivellement transversal long a joué un rôle prépondérant dans le déraillement considéré.

Elles montrent également qu'il n'est pas possible de combiner de façon simple les critères de nivellement transversal et les critères de dressage pour déterminer les mesures à prendre en cas de superposition de défauts.

Conclusions sur les causes directes du déraillement

Le déraillement est dû à un affaissement de la file de rails gauche qui a engendré un ensemble de défauts de la voie et, notamment, un défaut de nivellement transversal long.

Bien qu'aucun des paramètres géométriques de la voie n'atteigne les valeurs de ralentissement actuellement en vigueur sur le RFN ou au niveau européen, la superposition de ces défauts, en présence d'un wagon rigide et ayant un centre de gravité haut, a provoqué le délestage de la roue guidante de ce dernier et son déraillement.

4 - Déroulement de l'accident

4.1 - La formation et la circulation du train n° 815761

Le train est formé au triage d'Hourcade (Bordeaux) par Fret SNCF pour le compte d'Infrarail, dans la matinée du 20 octobre à partir de trois lots arrivés la veille :

- en tête, 12 wagons chargés de traverses en provenance de Bergerac (24) ;
- au milieu, 3 wagons chargés de rails en provenance de Saulon (21) ;
- en queue, 10 wagons trémies de type D12 chargés de ballast en provenance des carrières de Cusset (03).

Il subit un essai de frein complet sur la voie de formation. Il ne fait pas l'objet d'une reconnaissance de l'aptitude au transport (RAT), ses wagons n'ayant pas été triés à la gravité conformément à l'organisation en vigueur sur le site d'Hourcade depuis fin 2010.

Après la mise en tête de la locomotive BB 22302 acheminant la BB 67617 en véhicule, un essai de continuité est effectué.

Le train quitte le triage d'Hourcade à 15h04 ; il circule à l'heure.

Les différents postes chargés d'assurer la surveillance des trains en marche (STEM) ne constatent aucune anomalie lors du passage du train n° 815761, notamment les postes 1 et 4 d'Agen qui sont les derniers postes de STEM avant le lieu de l'accident, à 25 km environ de celui-ci.

De même le détecteur de boîtes chaudes (DBC) implanté au km 127, à 32 km du lieu de l'accident, ne détecte aucun échauffement anormal.

4.2 - Le déraillement

Circulant à 100 km/h, à l'approche de Valence d'Agen, à la hauteur du km 158,900 dans une courbe à gauche de grand rayon, le train aborde une zone où la voie 1 présente un affaissement d'une amplitude atteignant 51 mm sur la file gauche et 13 mm sur la file droite.

La tête du train composée de wagons plats franchit ce défaut sans difficulté.

Les wagons trémies chargés de ballast qui constituent la queue du train, ont une rigidité plus grande et un centre de gravité plus haut. Les défauts géométriques de la voie provoquent des délestages significatifs de certaines roues. La quatrième de ces trémies, qui est dotée de lisoirs fixes et dont la répartition des jeux aux lisoirs n'est pas optimale bien que conforme aux normes en vigueur, voit sa roue guidante se délester complètement. Le boudin de cette roue grimpe sur le champignon du rail de la file droite et l'essieu de tête déraile vers l'extérieur de la courbe.

Le deuxième essieu du bogie déraile à la suite.

Le wagon concerné, qui occupe la 19^e position dans le train, circule avec deux essieux déraillés sur un kilomètre environ en projetant du ballast et des débris.

Le conducteur du TGV n° 8568, arrivant à 155 km/h sur la voie 2 adjacente et voyant le nuage de poussière à la queue du train de marchandises, croit qu'il a affaire à une ballastière dont la trappe de déchargement s'est entrouverte et qui perd son chargement. Il déclenche un freinage d'urgence et les signaux d'alerte radio et lumineux.

Lorsqu'il croise le train n° 815761, le TGV reçoit des projections sur sa face avant et sur son côté droit, qui lui occasionnent de nombreux bris de vitres et des dégâts divers.

En abordant l'aiguille prise en talon du km 160,000, le wagon déraillé se trouve écarté vers l'entrevoie, ce qui provoque la rupture de l'attelage avec le wagon qui le précède et fait dérailler son deuxième bogie, ainsi que le 20^e wagon suivant et le premier bogie du 21^e wagon.

Les deux premiers wagons déraillés engagent le gabarit de la voie 2 au moment où ils croisent la motrice de queue du TGV n° 8568 sur laquelle ils viennent s'appuyer en occasionnant des dommages sur sa face latérale et en en arrachant un marche-pied.

Ces deux wagons se couchent ensuite sur la voie 2 au km 160,400.

La partie avant du train de marchandises s'arrête sous l'action du freinage d'urgence déclenché par le conducteur, avec sa locomotive à hauteur du km 161,050.

De son côté, le TGV s'arrête avec sa cabine de tête au km 159,200.

4.3 - Les mesures immédiates de protection

Le conducteur du TGV, qui s'est arrêté le premier, appelle aussitôt le régulateur pour l'aviser de l'incident.

Entendant le signal d'alerte radio émis par le TGV, le conducteur du train n° 815761 déclenche un freinage d'urgence, puis actionne son signal d'alerte lumineux et baisse son pantographe. Après l'arrêt, il appelle à son tour le régulateur pour demander la protection, afin d'aller à la visite de son train.

À ce stade, personne n'est encore conscient du déraillement et de l'engagement du gabarit de la voie 2.

Lors de la visite, le conducteur du train de marchandises constate une rupture d'attelage derrière le 18^e wagon, puis, en allant vers la deuxième partie du train, il voit deux ballastières couchées sur la voie contiguë.

De retour dans sa cabine, il avise le régulateur de la situation.

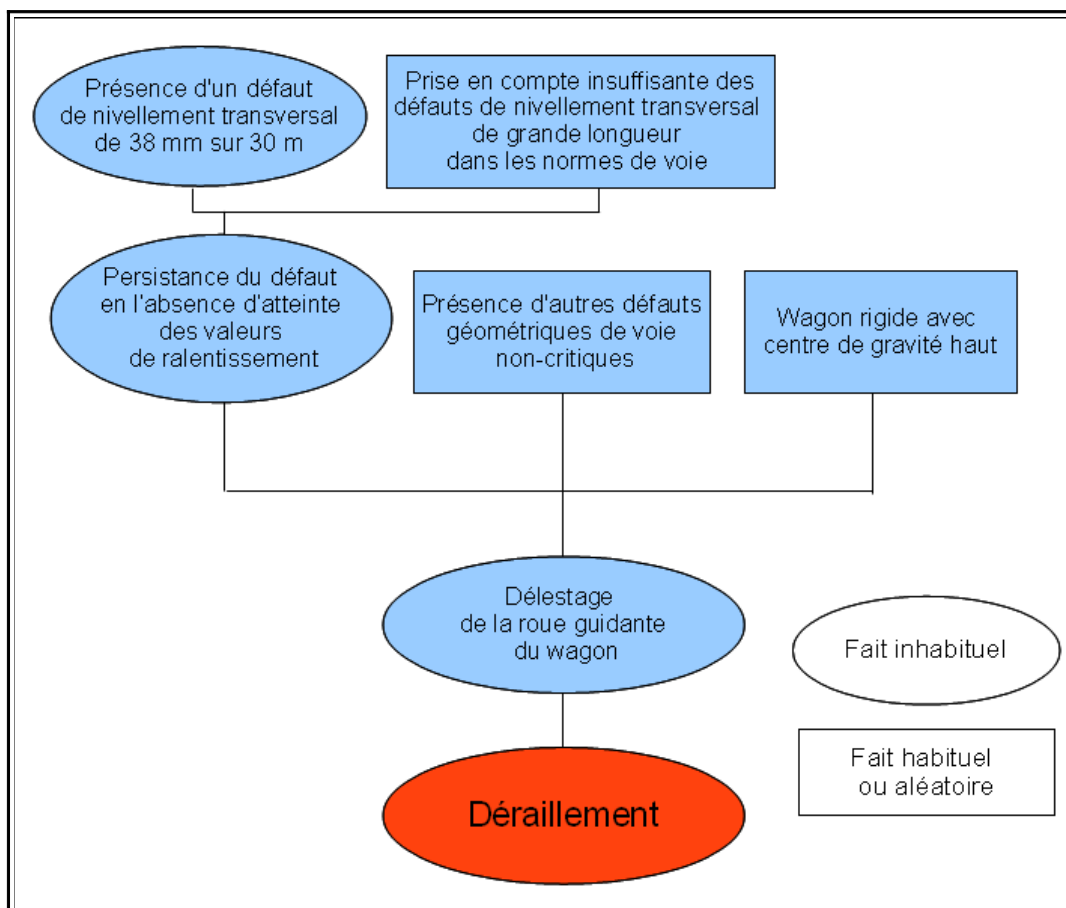
4.4 - L'intervention des secours

Prévenue par des riverains, une première équipe de la brigade de gendarmerie de Valence d'Agen arrive sur les lieux 15 mn environ après l'accident. Elle effectue la protection du site et des deux convois impliqués, puis procède aux constatations et aux auditions des témoins.

Les pompiers du centre de Valence d'Agen arrivent sur place à 17h18, d'abord avec 4 véhicules, puis avec deux autres. Ils assurent la reconnaissance et la protection du site de l'accident. Leur intervention prend fin à 19h19.

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

5.1 - Les causes de l'accident



La cause directe de l'accident est le délestage en courbe de la roue droite de l'essieu de tête du 19^e wagon du train de marchandises impliqué.

Ce délestage est la conséquence d'un affaissement de la voie 1, d'une amplitude et d'une longueur inhabituelles atteignant 51 mm sur la file de rails gauche et 13 mm sur la file droite, qui a engendré un ensemble de défauts de cette voie et, notamment, un défaut de nivellement transversal long d'une amplitude de 38 mm sur 30 m.

Ce défaut, qui est mal pris en compte par les systèmes de mesure de la géométrie de la voie et par les normes de maintenance, n'a pas conduit à imposer une limitation temporaire de vitesse. Combiné à d'autres défauts géométriques non-critiques, il a suffi à provoquer le délestage puis le soulèvement de la roue guidante d'un wagon trémie qui, lorsqu'il est chargé, possède une grande rigidité et un centre de gravité haut placé.

Cette analyse conduit à rechercher les orientations préventives dans le domaine des paramètres normés de suivi géométrique des voies.

5.2 - Les paramètres normés de suivi géométrique des voies

L'enquête a montré que les paramètres actuellement utilisés dans les normes nationales et européennes de maintenance et de suivi de la géométrie des voies n'ont pas permis de traiter en temps utile un défaut de nivellement transversal de grande amplitude qui, superposé à d'autres défauts géométriques non-critiques, a suffi pour provoquer le délestage et le soulèvement de la roue guidante d'un wagon de type courant mais qui présentait, du fait de son chargement, une rigidité importante et un centre de gravité haut placé.

Les moyens informatiques actuels de traitement des données enregistrées par les voitures Mauzin permettent d'envisager le calcul de nouveaux paramètres permettant de détecter plus efficacement ce type de défaut.

Les premières évaluations effectuées par la direction de l'Ingénierie de la SNCF laissent penser qu'il est possible de mettre au point un tel paramètre et de lui attribuer des valeurs d'alerte, d'intervention et de ralentissement permettant de prévenir un événement du type du déraillement de Valence d'Agen sans pour autant conduire à des restrictions de circulation sensibles ou à un alourdissement significatif de la maintenance.

Ceci conduit le BEA-TT à formuler la recommandation suivante :

Recommandation R1 (SNCF Infra, RFF)

Étudier la pertinence d'introduire un nouveau paramètre de suivi géométrique de la voie ou d'améliorer l'exploitation des paramètres existants en vue de détecter efficacement les défauts de nivellement transversal long et de déclencher, en temps utile, les alertes, les interventions ou les restrictions de circulation nécessaires.

5.3 - Les autres constats

Lors de la conduite de la présente enquête, il est apparu que :

- les règles de conservation des documents de traçabilité relatifs aux opérations de maintenance du matériel roulant, fixées dans la directive SNCF MA-0023, n'avaient pas été respectées par l'établissement de Tergnier ;
- le train n° 815761 était dispensé de la reconnaissance de l'aptitude au transport au départ du triage d'Hourcade alors que l'étude de risques préalable, prescrite en pareil cas, n'était pas conforme aux exigences de la procédure SNCF FR-0033.

Bien que ces écarts n'aient pas de lien causal avec l'accident, le BEA-TT invite la SNCF :

- à faire appliquer ses règles de conservation et d'archivage des documents dans ses établissements de maintenance du matériel roulant ;
- à faire effectuer par ses établissements les études de risques prescrites préalablement à toute décision visant à dispenser un train des opérations de reconnaissance de l'aptitude au transport.

6 - Conclusions et recommandations

6.1 - Les causes de l'accident

La cause directe de l'accident est le délestage en courbe de la roue droite de l'essieu de tête du 19^e wagon du train de marchandises impliqué.

Ce délestage est la conséquence d'un affaissement de la voie 1, d'une amplitude et d'une longueur inhabituelles atteignant 51 mm sur la file de rails gauche et 13 mm sur la file droite, qui a engendré un ensemble de défauts de cette voie et, notamment, un défaut de nivellement transversal long d'une amplitude de 38 mm sur 30 m.

6.2 - Les recommandations

Au vu de ces éléments, le BEA-TT formule la recommandation suivante :

Recommandation R1 (SNCF Infra, RFF)

Étudier la pertinence d'introduire un nouveau paramètre de suivi géométrique de la voie ou d'améliorer l'exploitation des paramètres existants en vue de détecter efficacement les défauts de nivellement transversal long et de déclencher, en temps utile, les alertes, les interventions ou les restrictions de circulation nécessaires.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Synthèse des relevés manuels des paramètres géométriques de la voie

Annexe 3 : Résultats des simulations numériques du comportement dynamique du wagon

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

 Liberté - Égalité - Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE	
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT	
<i>Bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre</i> <i>Le Directeur</i>	La Défense, le 21 octobre 2011
DECISION	
Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre,	
Vu le code des transports et notamment le titre II du livre VI de la 1 ^{re} partie relatif à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport ;	
Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 modifié relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;	
Vu les circonstances du déraillement d'un train de marchandises survenu le 20 octobre 2011 à Valence d'Agen (Tarn-et-Garonne) ;	
décide	
Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application du titre II du livre VI de la 1 ^{re} partie du code des transports sur le déraillement d'un train de marchandises survenu le 20 octobre 2011 à Valence d'Agen (82).	
Le directeur du BEA-TT	
	
Claude AZAM	
Tour Voltaire 92055 La Défense Cedex Tél. : 01 40 81 23 27 – www.bea-td.developpement-durable.gouv.fr	

Annexe 2 : Synthèse des relevés manuels des paramètres géométriques de la voie

SYNTHESE DES DIFFERENTS RELEVES SUITE AU DERAILEMENT DE VALENCE D'AGEN KM 158,946 VOIE 1 LIGNE 640000											
OBSERVATIONS	km	N° Piquet courbe	N° trav	Niv Transversal Assemblé	dévers prescrit	Dp-DA	Niv visée / 15m 19/10/ file basse	devers mesuré 19/10/2011	Niv visée / 30m 20/10 file basse	Dévers mesuré 20/10	G3
	158,897		1	98	86	-12					2
	158,897		2	99	86	-13					1
	158,898		3	100	86	-14					1
	158,898		4	99	86	-13					0
	158,899		5	99	86	-13					-1
	158,900		6	98	86	-12					-3
	158,900	B17	7	98	86	-12					-3
	158,901		8	97	86	-11					-5
	158,901		9	96	86	-10					-6
	158,902		10	94	86	-8					-6
	158,903		11	92	86	-6					-4
	158,903		12	92	86	-6					-3
	158,904		13	93	86	-7					0
	158,904		14	93	86	-7					2
	158,905		15	94	86	-8					2
	158,906		16	94	86	-8					0
	158,906		17	94	86	-8					-1
	158,907		18	93	86	-7					-3
	158,907		19	92	86	-6					-4
	158,908		20	91	86	-5					-4
	158,909		21	90	86	-4			0		-3
	158,909		22	90	86	-4					-2
	158,910	B18	23	90	86	-4					-1
	158,910		24	90	86	-4			10		1
	158,911		25	90	86	-4					2
	158,912		26	91	86	-5					4
	158,912		27	92	86	-6			16		6
	158,913		28	94	86	-8					6
	158,913		29	96	86	-10					5
	158,914		30	96	86	-10			25		7
	158,915		31	96	86	-10					8
	158,915		32	99	86	-13					7
	158,916		33	102	86	-16			30	102	9
	158,916		34	103	86	-17					10
	158,917		35	105	86	-19					9
	158,918		36	106	86	-20			35	106	8
	158,918		37	108	86	-22					9
	158,919		38	110	86	-24					9
	158,919		39	112	86	-26			42	112	10
	158,920	B19	40	114	86	-28					10
	158,921		41	116	86	-30	0	118			8
	158,921		42	118	86	-32	5	118	48	117	6
	158,922		43	118	86	-32	5	118			4
	158,922		44	118	86	-32	6	118			2
	158,923		45	118	86	-32	7	118	50	118	0
	158,924		46	118	86	-32	8	118			0
	158,924		47	118	86	-32	10	118			0
	158,925		48	118	86	-32	10	118	51	118	2
	158,925		49	118	86	-32	11	118			2
	158,926		50	120	86	-34	12	119			2
	158,927		51	120	86	-34	12	120	51	120	4
	158,927		52	120	86	-34	12	121			5
	158,928		53	122	86	-36	13	122			3
	158,928		54	123	86	-37	13	122	50	122	4
	158,929		55	123	86	-37	13	123			4
	158,930	B20	56	124	86	-38	12	123			0
sition empattement 2èm ess	158,930		57	124	86	-38	12	124	50	121	-1
	158,931		58	122	86	-36	11	123			-1
	158,931		59	122	86	-36	10	122			-2
	158,932		60	122	86	-36	9	122	32	122	-4
	158,933		61	122	86	-36	7	122			-4
	158,933		62	120	86	-34	6	120			-8
	158,934		63	118	86	-32	5	118	25	118	-11
	158,934		64	114	86	-28	3	115			-12
	158,935		65	111	86	-25	0	112			-12
	158,936		66	110	86	-24		110	15	110	-12
	158,936		67	108	86	-22		108			-10
	158,937		68	106	86	-20		106			-8
	158,937		69	104	86	-18		104	6	104	-8
	158,938		70	103	86	-17		103			-8
	158,939		71	102	86	-16		102			-8
Début Montée roue	158,939		72	100	86	-14			0	100	-8
	158,940		73	98	86	-12					-8
	158,940		74	96	86	-10					-8
	158,941		75	95	86	-9					-8
	158,942		76	94	86	-8					-8
	158,942		77	92	86	-6					-6
	158,943		78	90	86	-4					-6
	158,943		79	90	86	-4					-5
	158,944		80	89	86	-3					-4
	158,945		81	89	86	-3					-2
	158,945		82	88	86	-2					-1
Début Déraillement	158,946		83	88	86	-2					0
	158,946		84	89	86	-3					-1
	158,947			89	86	-3					0

Annexe 3 : Résultats des simulations numériques du comportement dynamique du wagon

Résumé des résultats de simulations

Rappel: le wagon circule avec l'essieu 7-8 en avant; la roue dérailleur est la roue 7

n°sim	Objet de la simulation	Délestage de roue %				Y/Q Roue 7	Soulèvement de roue (mm) Roue 7
		Roue 7	Roue 5	Roue 3	Roue 1		
25	Voie réelle sans affaissement	17	11	17	12	0,7	0
22	Affaissement file basse -38mm, Jeux aux lisoirs mesurés Affaissement de traverse de 3mm	95	81	75	70	0,98	1,6
Nouveaux calculs							
125	Conditions correspondant à la réalité de référence : Affaissement file basse -51mm (au lieu de -38mm) Affaissement file haute -13mm, Jeux aux lisoirs mesurés Affaissement de traverse de 3mm	95	80	70	70	1,55	3,8
126	Inversion du jeu aux lisoirs 13 et 24	91	77	55	53	1,56	2,8
131	Gauche de déformation du chassis de bogie de 5mm	87	83	78	67	1,5	1,8
132	Gauche de déformation du chassis de bogie de 15mm	91	90	94	56	0,79	1,1
133	Gauche de déformation du chassis de bogie de 25mm	79	100	95	42	1,24	3,8
136	Gauche de déformation du chassis de bogie de -15mm	100	66	56	86	1,55	8,2
137	Gauche de déformation du chassis de bogie de -25mm	100	52	60	87	1,54	10
127	Jeux aux lisoirs (1-3, 2-4, 5-7, 6-8) : (9,9,9,9)	90	80	48	44	1,58	3,3
128	Jeux aux lisoirs (1-3, 2-4, 5-7, 6-8) : (18,0,0,18)	97	100	98	82	0,75	1,2 (R11) 4 (R22)
129	Jeux aux lisoirs (1-3, 2-4, 5-7, 6-8) : (0,18,18,0)	100	100	100	100	1,62	5 (R11) 1 (R21)
130	Perte d'anneaux côté roue 2 (bogie ext 1 en AR)	92	87	93	89	1,3	3,6
152	Affaissement réduit de 20mm en file basse (-18mm), la file haute n'étant pas affaissée	42	30	23	16	0,56	0
154	Défaut de Dressage diminué de moitié	96	82	71	70	1,89	5,5
150	Circulation à la vitesse de 60km/h	100	76	38	44	0,52	0
151	Circulation à la vitesse de 40km/h	82	58	55	55	0,63	0
155	Allongement de la variation de dévers (éloignement des pics du G9, doublement de la distance entre les 2 pics)	81	72	38	39	0,96	1,2
153	Rigidité torsionnelle réelle équivalente à une citerne (Ct* = 30 E10 kN.mm²/rad)	94	77	67	72	1,59	3

BEA-TT - Bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre

Tour Voltaire - 92055 La Défense cedex
Tél. : 01 40 81 21 83 - Fax : 01 40 81 21 50
cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

