

Rapport d'enquête technique
sur le déraillement du train 5941
survenu le 25 février 2006
à Saint Flour (15)

Novembre 2006



Conseil Général des Ponts et Chaussées

Le 2 novembre 2006

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

Affaire n°BEATT-2006-003

**Rapport d'enquête technique sur le déraillement du train 5941
survenu le 25 février 2006 à Saint-Flour (15)**

Bordereau documentaire

Organisme (s) commanditaire (s) : Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer ; MTETM

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur le déraillement du train 5941 survenu le 25 février 2006 à Saint Flour (15)

N°ISRN : EQ-BEATT—06-9--FR

Proposition de mots-clés : Voie ferrée, Régénération infrastructure, Politique de maintenance, Rail double champignon.

Sommaire

Résumé.....	7
1- Engagement de l'enquête.....	9
2- Constats immédiats.....	11
2.1- Circonstances de l'accident.....	11
2.2- Secours.....	11
2.3- La ligne Clermont-Ferrand / Béziers et son trafic.....	11
2.3.1- La ligne Clermont / Béziers.....	11
2.3.2- Le trafic et le matériel circulant sur cette ligne.....	12
2.4- Pertes humaines, personnes blessées et dommages matériels.....	12
2.4.1- Conséquences humaines.....	12
2.4.2- Conséquences matérielles.....	12
2.4.3- Conséquences exploitation.....	13
2.5- Circonstances externes.....	13
3- Éléments de contexte.....	15
3.1- Statut de la voie.....	15
3.2- Le rail.....	15
3.3- Traverses et attaches.....	15
3.4- Géométrie de la voie.....	15
3.5- Maintenance et renouvellement de la voie (cadre général).....	15
3.5.1- Maintenance de la voie.....	15
3.5.2- Renouvellement de la voie.....	16
3.6- Maintenance et renouvellement de la voie; cas de la ligne Neussargues-Béziers.....	17
3.6.1- Convention de gestion RFF/SNCF appliquée à la ligne Neussargues-Béziers.....	17
3.6.2- Maintenance effectivement réalisée par la région SNCF de ClermontFerrand.....	17
4- Compte rendu des investigations.....	19
4.1- Résumé des témoignages.....	19
4.1.1- Le conducteur du 5941.....	19
4.1.2- Le contrôleur du 5941.....	19
4.1.3- Le conducteur du train précédent 5940.....	19
4.1.4- Le contrôleur du train précédent 5940.....	19
4.2- Expertise de la conduite.....	19
4.3- Expertise du matériel roulant (résultats).....	19
4.4- Expertise de la voie :.....	20

4.4.1- Expertise des rails (dont le rail en cause).....	20
4.4.2- Expertise de la géométrie de la voie.....	21
4.4.3- Expertise des autres constituants : ballast, traverses, attaches.....	21
4.4.4- Expertise des conditions de réalisation de la maintenance.....	23
4.4.5- Évènements antérieurs de nature comparable.....	23
4.4.6- Historique des modifications de la planification d'entretien sur ce tronçon de ligne depuis 1999.....	24
4.4.7- Historique des réflexions et actions menées par la région sur le suivi et la résorption des fissurations de coussinets.....	24
5- Déroulement de l'accident.....	25
5.1- Le contexte de la voie.....	25
5.2- Scénario probable décrivant les conditions du déraillement.....	25
5.2.1. Etat de la voie dans la zone de rupture.....	25
5.2.2. Les efforts subis :.....	26
5.2.3. L'évènement (hypothèse la plus vraisemblable) :.....	26
5.2.4. Autre scénario possible.....	29
6- Analyse et recommandations préventives.....	31
6.1- La réduction du risque de déraillement en cas de rupture du rail.....	31
6.2- La réparation des rails « double champignon » par soudure aluminothermique.	32
6.3- La remise à niveau des voies (trafic voyageurs) équipées de rails « double champignon ».....	32
6.4- Perspectives d'évolution concernant le rail « double champignon ».....	33
7- Mesures prises à la suite de l'accident :.....	35
7.1- Mesures au niveau régional.....	35
7.2- Mesures au niveau national.....	35
8- Conclusions.	37
8.1- Causes et facteurs de l'accident.....	37
8.2- Rappel des recommandations.....	38
ANNEXES.....	39
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	41
Annexe 2 : La ligne Clermont-Ferrand / Béziers dans le réseau national.....	42
Annexe 3 : Photographie de l'accident.....	43
Annexe 4 : La rupture de rail.....	44
Annexe 4-1 : version a.....	44
Annexe 4-2 : version b.....	45
Annexe 5 : La voie à Saint Flour : rail DC, coussinets, patin, âme, champignon..	46
Annexe 6 : Quasi-absence de ballast sous la voie.....	47

Annexe 7 : Traverse danseuse.....	48
Annexe 8 : Tirefonds soulevés (coussinets pivotants).....	49
Annexe 9 : Le trou du tirefond a été résinifié.....	50
Annexe n° 10 : Diagramme causes – conséquences.....	51

Glossaire

*Les termes repris dans ce glossaire sont repérés, lors de leur première utilisation, par une **

- **Désaffleurement:** dans le cas d'une rupture de rail, il y a désaffleurement des deux bouts lorsque ceux-ci ne sont plus alignés bout à bout et qu'ils créent ainsi une discontinuité géométrique.
- **Insuffisance de dévers:** dans une courbe ferroviaire, le rail de la file extérieure est posé à une altitude supérieure à celle de la file intérieure afin de compenser, pour une vitesse donnée, l'effet de la force centrifuge sur les véhicules ferroviaires. Comme il faut tenir compte de toutes les vitesses de circulation, et notamment du cas où un train serait arrêté dans cette courbe, l'élévation de la file extérieure ne peut être qu'un compromis; pour les circulations ferroviaires à la vitesse maximum de la ligne, il y a donc dans cette courbe une « insuffisance de dévers », laquelle s'exprime en millimètres. L'insuffisance de dévers est donc la valeur dont il faudrait surélever la file extérieure du rail, pour que, à la vitesse considérée, l'effet de l'accélération centrifuge soit totalement compensé.
- **Rail « DC (double champignon) »:** le profil des rails comporte trois parties. A la base, le patin, puis l'âme, enfin le champignon à la partie supérieure qui supporte le roulement des trains. La coupe d'un rail « double champignon » (en abrégé : DC) est approximativement symétrique, le patin et le champignon ayant sensiblement les mêmes formes et dimensions.
- **Plancher continu:** politique de maintenance de la voie qui, pour une zone donnée, ne prévoit pas de remplacement généralisé des traverses lorsque celles-ci approchent de leur fin de vie; la méthode de maintenance consiste dans ce cas à remplacer les traverses une par une, en ne choisissant au moment de l'opération que celles d'entre elles qui sont les plus dégradées, c'est à dire plus précisément, celles dont le maintien en voie ne peut attendre la campagne suivante de remplacement.
- **RVB:** opération de maintenance de la voie qui, pour une zone donnée, consiste à remplacer simultanément le ballast, les traverses et les rails par des éléments neufs.
- **Rupture fragile:** une pièce métallique peut se rompre selon une rupture de « fatigue » ou selon une rupture « fragile ». Dans le cas d'un phénomène de fatigue, des défauts internes à la pièce métallique apparaissent, qui peuvent être détectés par un appareillage idoine; lorsque cette détection précoce est effectuée, elle permet de retirer du service la pièce considérée avant d'atteindre le seuil de la rupture. La rupture est fragile lorsqu'aucune détection de défaut interne n'a été possible, et donc que la rupture s'est produite sans préavis.

Résumé

Le samedi 25 février 2006, le train Corail 5941 Paris-Béziers circulant sur la section de ligne à voie unique Neussargues-Béziers déraille au point kilométrique 692,480 sur la commune de Saint-Flour (département du Cantal). A cet endroit, la voie est en courbe de rayon 296 m, en légère déclivité. L'ensemble du convoi déraille (la locomotive et les trois voitures), la locomotive et la première voiture sont projetées contre la paroi rocheuse.

Deux blessés légers sont à déplorer parmi les voyageurs; le matériel roulant et l'infrastructure sur 100 m sont fortement dégradés.

La cause directe de cet accident provient de la rupture du rail de la file extérieure de la voie en courbe, au droit d'une soudure aluminothermique. Aucun signe avant-coureur n'était apparu dans le rail qui aurait pu être détecté par les examens périodiques aux ultra-sons. Cette rupture, ainsi que la perte d'une attache, ont entraîné un désaffleurement* important entre les abouts du rail rompu lors du passage du train, provoquant son déraillement.

Cet accident trouve ses origines dans le caractère obsolète de la voie et dans une politique de maintenance inadaptée.

Cette voie, équipée de rails "double champignon*" (DC), est vulnérable aux risques de déraillement en cas de rupture du rail et il n'existe plus d'éléments de remplacement pour renouveler ce rail "hors d'âge". En outre, le travelage réduit contribue à accroître les efforts subis par le rail. Le ballast ayant quasiment disparu ne permet plus de maintenir un nivellement correct de la voie.

La politique de maintenance ayant écarté toute régénération (méthode du "plancher continu")*, le nombre de soudures en voie a augmenté du fait de l'absence de remplacement du rail, créant des points de fragilité, et la substitution au coup par coup des traverses bois anciennes a fait apparaître le phénomène de danse à cause de l'impossibilité d'apporter du ballast pour refaire le nivellement.

Ces constatations conduisent à formuler des recommandations concernant :

- à court terme, l'établissement d'une méthodologie, pour circonscrire des « zones particulières » où la vitesse des trains serait réduite afin d'éviter le déraillement en cas de rupture de rail « double champignon ».
- le remplacement, autant que possible, du rail par barres entières en cas de dégradation au lieu d'opérer une soudure, cette mesure nécessitant au préalable de récupérer des rails « double champignon » encore sains,
- l'établissement d'un programme de remise à niveau des lignes équipées de rails « double champignon », où le remplacement des traverses est associé à un relevage du ballast,
- à terme, la régénération du rail « double champignon » par du rail Vignole.

* Terme figurant dans le glossaire

1- Engagement de l'enquête.

Le samedi 25 février 2006 à 14 h 45, le train Corail 5941 de la SNCF (Paris 08 h 57 / Béziers 19 h 37) circulant sur la section de ligne à voie unique Neussargues-Béziers (annexe 2), déraile au PK 692,480, sur la commune de Saint-Flour (département du Cantal). L'ensemble du convoi (la locomotive et trois voitures Corail) est déraillé, la locomotive et la première voiture sont projetées contre la paroi rocheuse (annexe 3).

Il est dénombré deux voyageurs légèrement blessés parmi les 52 clients du train. L'ensemble des voyageurs est pris en charge par les services de secours (CODIS 15) aidés d'une cellule psychologique du SAMU. Les deux voyageurs légèrement blessés sont acheminés vers leur destination en taxi, les autres en autocars affrétés par la SNCF. Les deux agents SNCF, conducteur et agent d'accompagnement, ne présentent pas de blessures apparentes.

L'infrastructure ferroviaire a subi d'importants dégâts sur une longueur de 100 m au droit du déraillement. La circulation des trains est interrompue pendant plusieurs jours sur la section de ligne Neussargues-Loubaresse.

Le Ministre des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer a décidé le 1er mars 2006 la réalisation d'une enquête technique, confiée au Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (annexe 1).

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002, et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004, relatifs 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'évènement analysé, et en établissant les recommandations de sécurité utiles.

2- Constats immédiats

2.1- Circonstances de l'accident.

Le 25 février 2006, à 14 h 45, le train Corail 5941 de la SNCF (origine commerciale Paris-gare de Lyon, destination commerciale Béziers) circulant sur la voie unique électrifiée Neussargues-Béziers, déraille au point-kilométrique 692,480 sur la commune de Saint-Flour.

Ce train est composé d'une locomotive électrique de type BB 8500 (locomotive n° 508619 du dépôt de Toulouse) et de trois voitures Corail. La longueur du train est de 98 mètres, la masse remorquée est de 140 tonnes, la masse de la locomotive est de 83 tonnes, tous les essieux du train sont freinés.

Au moment de l'accident, le train circulait à 73 km/h, respectant ainsi la vitesse autorisée de la ligne à cet endroit là (75 km/h). Précédemment, une rame semblable (même locomotive et coupon semblable de voitures) avait circulé une heure plus tôt en sens inverse (train 5940) jusqu'à Neussargues; ce sont les deux seules circulations prévues et ayant circulé ce samedi 25 février.

La locomotive, les deux premières voitures et le premier bogie de la troisième et dernière voiture sont déraillés. Le dernier bogie de la rame n'est pas déraillé, et sa roue avant (sens de la marche) est immobilisée à environ 60 centimètres de la lacune (5 cm de large) du rail cassé. En effet, la file extérieure des rails est rompue au niveau d'une soudure aluminothermique (annexe 4). La locomotive a basculé hors du ballast et se trouve inclinée, retenue par la paroi rocheuse. Au cours du déraillement, la rame a heurté et renversé un poteau supportant la caténaire; le fil de contact a été rompu et traîne sur le sol. Les deux abouts de la lacune sont matés, montrant ainsi que celle-ci a été franchie par des circulations des deux sens.

2.2- Secours

Les secours départementaux (CODIS 15) sont alertés par le conducteur et l'agent d'accompagnement grâce à leur téléphone portable. Le conducteur informe le Poste de commande centralisée de Millau en utilisant un téléphone de pleine voie et demande la coupure d'urgence de l'alimentation électrique de la caténaire.

Le train transportait 52 voyageurs; parmi ceux-ci, deux adolescents ont été blessés légèrement, au genou pour l'un, au coude pour l'autre. L'ensemble des voyageurs a été évacué à pied par la piste latérale jusqu'au passage à niveau n° 145 situé au PK 691,882, à environ 500 m du lieu du déraillement. Les services de secours ont ensuite acheminé ces voyageurs vers un gymnase de la commune de Saint-Flour où se trouvait une cellule psychologique mise en place par le SAMU; trois voyageurs ont demandé à bénéficier du soutien de cette cellule. Les clients indemnes ont pu poursuivre leur voyage en utilisant les cars affrétés par la SNCF. Les deux adolescents, légèrement blessés, ont pu poursuivre leur voyage, en taxi, la SNCF ayant obtenu l'accord de leurs parents.

2.3- La ligne Clermont-Ferrand / Béziers et son trafic

2.3.1- La ligne Clermont / Béziers

De Clermont-Ferrand à Neussargues, les trains sont à traction autonome; la traction électrique reprend à partir de Neussargues jusqu'à Béziers. La ligne est à double voie de Clermont-Ferrand jusqu'à Arvant, gare de bifurcation vers Béziers et vers Nîmes, puis la ligne devient à voie unique à partir d'Arvant vers Neussargues et au delà. La traction électrique se fait en courant continu 1500 volts, sous une caténaire de type « midi », l'exploitation est réalisée par une commande centralisée au PCC de Millau. L'espacement des trains est assuré par le block BAPR (bloc automatique à permissivité restreinte) à compteur d'essieux.

La modicité du trafic empruntant cette ligne la classe dans le groupe « UIC 8 avec voyageurs »; cette classification, mise au point sous l'égide de l'Union internationale des Chemins de Fer (UIC) comporte neuf classes définies essentiellement en fonction du trafic, du tonnage et de la vitesse de la ligne, allant du groupe 1 au groupe 9 par ordre d'importance décroissante. La vitesse autorisée pour les trains de voyageurs sur la partie de voie concernée est de 75 km/h. La voie est constituée de barres normales de 22 mètres à joints concordants. Le rail est du type « rail double champignon », 44 kg/m, fabriqué en 1931 et posé en voie en 1932. Le travelage est constitué de traverses bois datant de 1952. La densité de ce travelage est faible: 1 363 traverses au km.

Pour l'entretien de cette voie, il n'est pas prévu d'opération de régénération en grand. Il est appliqué le principe du « plancher continu » où seul le constituant devenu isolément hors-norme est remplacé ou réparé de façon individuelle, en fonction des approvisionnements disponibles.

La voie où s'est produite le déraillement est en courbe de 296 m de rayon, présentant une pente de 0,47 % dans le sens Neussargues vers Saint-Flour. La courbe est posée avec un dévers de 105 mm; compte tenu de la vitesse de la ligne à cet endroit, cette courbe présente une insuffisance de dévers* de 119 mm (qui reste inférieure à l'insuffisance maximale de dévers admise sur le réseau ferré national de 160 mm pour les rames tractées).

2.3.2- Le trafic et le matériel circulant sur cette ligne.

Sur la section de ligne Neussargues-Saint-Chély d'Apcher, le trafic est très limité : un à deux aller-retours voyageurs (assurés en rames tractées locomotive électrique tirant trois voitures corail et en automotrice électrique de type Z 7300) et un train de fret assurant la desserte en produits sidérurgiques de l'usine Arcelor de Saint-Chély d'Apcher. Pour le fret, les produits proviennent principalement de l'usine de Fos (même groupe industriel) qui empruntent la partie nord de la ligne (Clermont- Saint-Chély d'Apcher) apte aux charges à l'essieu de 22,5 tonnes (ligne « à charge D ») tandis que la partie sud jusqu'à Montpellier est limitée à 20 t/essieu. La recherche de l'aptitude à la charge D sur le tronçon nord de la ligne est liée à la desserte fret de cette aciérie Arcelor de Saint-Chély d'Apcher. Cette desserte est très difficilement envisageable côté sud du fait de déclivités importantes (25 à 30 pour mille) sur de longues distances (12 km pour la rampe d'Enguairesse). De plus, l'approvisionnement de l'aciérie se réalisait auparavant surtout à partir de sites nordiques (Dunkerque, nord-est européen). Les locomotives assurant la traction des trains de voyageurs sont du type « BB 9400/9600 » pesant 60 tonnes; toutefois, les locomotives de type « 8500 ou 8600 » pesant 83 t sont aussi utilisées. Pour le fret, les wagons sont tirés par des locomotives diesels type BB 67400 en unité simple (700 t) ou en unité double (1 300 t). Dans un passé récent, des machines diesel type CC 72000 pesant 114 t ont circulé en trafic fret, mais le service Équipement a banni ce type de machine pour agressivité excessive vis à vis de la voie.

Le tonnage brut complet quotidien moyen est estimé à 1 663 tonnes/jour entre Neussargues et Saint-Flour, et 1 295 tonnes /jour entre Saint-Flour et Saint-Chély d'Apcher.

2.4- Pertes humaines, personnes blessées et dommages matériels.

2.4.1- Conséquences humaines.

Deux blessés légers (personnes mineures) ont été dénombrés parmi les 52 voyageurs du train. Les deux agents SNCF, contrôleur et conducteur, n'ont pas présenté de blessures apparentes; ce dernier a ressenti un choc psychologique, tout en déclarant pouvoir continuer d'être apte à assurer son service.

2.4.2- Conséquences matérielles.

* Terme figurant dans le glossaire

La locomotive a été projetée hors de la voie et a percuté la roche en latéral: la caisse a subi plusieurs déformations et le carter du réducteur du bogie avant a été percé. Les organes de roulement et une partie de l'appareillage électrique sont à remettre en état.

En ce qui concerne l'infrastructure, cent mètres de voie courante sont à réparer en totalité. Un poteau caténaire est à remplacer, ainsi que 100 m de fil de contact.

2.4.3- Conséquences exploitation.

Après l'accident, la voie étant interceptée, les voyageurs ont dû subir un transbordement par car entre Saint-Chély d'Apcher et Neussargues ou Arvant pendant la période du 26 février jusqu'au 04 mars. Au rétablissement du service voyageurs, la vitesse a été limitée à 55 km/h dans la zone de Saint-Flour.

En ce qui concerne la circulation des trains de fret, la desserte de l'usine Arcelor de Saint-Chély d'Apcher a été suspendue du 26 février jusqu'au 02 mars, pour reprendre ensuite avec une vitesse limitée à 30 km/h qui est, au demeurant, la vitesse normale d'acheminement des wagons chargés à 22 tonnes par essieu sur cette section de ligne.

2.5- Circonstances externes.

Le 25 février 2006, les éléments climatiques sont les suivants : le temps est ensoleillé et il règne un froid sec (température négative).

La nuit, la température du rail est égale à celle de l'air ambiant (donc négative) mais le jour, le rail étant de couleur sombre, sous l'effet de l'ensoleillement, il peut atteindre des valeurs fortement positives même si l'air ambiant reste froid. Il en résulte de fortes variations de températures, de même pour les contraintes dans le rail, d'où des risques accrus de rupture.

3- Éléments de contexte.

3.1- Statut de la voie

La voie du secteur de Saint-Flour est classée dans le groupe 8 UIC (avec voyageurs). Le tonnage brut complet journalier moyen est estimé à 1 663 tonnes/jour entre Neussargues et Saint-Flour, et 1 295 tonnes/jour entre Saint-Flour et Saint-Chély d'Apcher, correspondant à une à deux circulations voyageurs et une circulation de train de marchandises par jour.

3.2- Le rail

Le rail est du type « 44 kg Midi à double champignon » (en abrégé : DC), produit en 1931 et posé en voie en 1932.

Historiquement, les rails furent laminés selon un profil en I, puis en double T, avec la partie supérieure renforcée. Les divers développements dont bénéficia le rail firent évoluer son profil vers une forme symétrique dite rail à double champignon symétrique. Le rail DC devait pouvoir, selon ses concepteurs être retourné pour être réutilisé après usure de la partie supérieure, mais il s'est avéré que l'encastrement du champignon au droit des coussinets d'appui le rendait impropre au roulement. Ce profil de rail a été supplanté par le rail « Vignole » caractérisé par un patin large qui lui permet de disposer d'une bonne rigidité dans le plan horizontal, d'une bonne résistance au déversement et d'exercer une moindre pression sur les traverses. Le profil du rail « Vignole » est répandu universellement. Seules quelques lignes, dont la ligne Béziers-Neussargues, pour partie, restent équipées de rails DC.

3.3- Traverses et attaches

Les traverses entrant dans la constitution de la voie sont en bois indigène, en chêne dans le cas présent. Elles ont été posées au cours des années 1951-1952. Le rail ne repose pas directement sur la traverse; un « coussinet » en fonte l'enserme et s'interpose entre la traverse et le rail. Le coussinet est fixé sur la traverse par trois tire-fonds. Le rail est calé dans le coussinet grâce à un coin en acier, sorte d'anneau plat ayant des caractéristiques élastiques (cf annexe 5).

3.4- Géométrie de la voie.

La voie repose sur un lit de granulats : le ballast. Ce ballast supporte donc les efforts qui lui sont transmis par les traverses et les retransmet à la plate-forme en les répartissant et en les absorbant partiellement (efforts verticaux et horizontaux). Le ballast doit permettre l'écoulement des eaux de pluie et l'aération de la plate-forme. Le ballast permet de régler le nivellement et le dressage de la voie afin de respecter les alignements et les courbes voulus par le tracé des concepteurs, donc de respecter la géométrie théorique de la voie. Sur cette portion de ligne, le ballast n'ayant pas été renouvelé, son épaisseur est très faible et les traverses reposent sur un mélange de terre et gravillons.

3.5- Maintenance et renouvellement de la voie (cadre général).

3.5.1- Maintenance de la voie.

La maintenance de la voie comprend:

- la surveillance,
- les opérations d'entretien proprement dites.

Parmi celles-ci, on distingue la maintenance corrective qui concerne les opérations

correctives décidées pour remédier aux défauts observés lors des tournées de surveillance et la maintenance préventive qui concerne les opérations programmées de façon cyclique et en fonction de l'expertise de l'état réel des différents constituants de la voie.

La surveillance de la voie est opérée par des tournées à pied des agents habilités suivant une périodicité fixée par les référentiels ainsi que des tournées en machine ou en queue de train des dirigeants locaux dont la périodicité minimale est également fixée par les référentiels. Ces tournées sont complétées par la circulation d'engins spéciaux permettant d'enregistrer la géométrie de la voie et l'état du rail du point de vue des défauts internes d'origine métallurgique. Bien évidemment, et en fonction des circonstances, la périodicité des tournées peut être renforcée.

Les observations faites au cours de ces tournées permettent de décider des opérations de maintenance corrective, c'est à dire des opérations qu'il convient d'engager dans un délai défini dans les référentiels pour permettre la poursuite de l'exploitation. Par ailleurs, une « expertise » des différents constituants de la voie est effectuée de façon cyclique pour déterminer les opérations de maintenance préventive qu'il convient de programmer afin d'éviter une détérioration des éléments constitutifs conduisant à une remise en état plus coûteuse.

L'ensemble de l'organisation de la maintenance des voies fait l'objet d'un référentiel largement diffusé et connu dans les services SNCF en charge de cette mission, et périodiquement remis à jour en fonction de l'expérience acquise

Les opérations de maintenance concernent :

- les rails (y compris l'ouverture des joints et l'assemblage rails-éclisses),
- la géométrie de la voie: nivellement transversal et nivellement longitudinal, dressage, écartement des rails,
- le système d'attaches,
- les traverses.

De fait, l'organisation de la maintenance est largement sous-tendue par les aspects économiques ayant pour objet d'optimiser le coût des interventions. En principe, les opérations de maintenance corrective, par définition non programmées, devraient revêtir un aspect exceptionnel. Toutefois, sur la ligne Béziers-Neussargues, le caractère obsolète de la voie ne permet plus de respecter cette « logique vertueuse » et la poursuite de l'exploitation conduit les équipes chargées de la maintenance à engager des opérations de maintenance corrective, au détriment de la maintenance programmée.

De plus, les atermoiements concernant l'éventualité d'une régénération de la voie, allant de pair avec une restriction de la maintenance préventive, n'ont fait qu'accroître ces difficultés.

Cet aspect de choses n'est pas propre à l'entretien d'une voie ferrée; d'une façon plus générale, il est courant qu'un « objet industriel » ne puisse plus remplir les fonctionnalités pour lesquelles il a été conçu par le fait des seules opérations d'entretien courant; il nécessite alors une opération de renouvellement en grand de tout ou partie de ses constituants.

3.5.2- Renouvellement de la voie.

Lorsque le vieillissement de la voie, dû à l'usure du temps et au trafic, ne permet plus d'obtenir, par les méthodes normales de maintenance, une résistance des éléments de structure et des qualités de géométrie convenable, il est nécessaire de procéder à un renouvellement total de tout ou partie des constituants : **ballast, traverses, rails.**

3.6- Maintenance et renouvellement de la voie; cas de la ligne Neussargues-Béziers.

3.6.1- Convention de gestion RFF/SNCF appliquée à la ligne Neussargues-Béziers.

Il n'est pas prévu de renouvellement systématique sauf cas particulier devant faire l'objet d'un dossier justificatif spécifique. Toutefois, la modicité des budgets réservés à cet effet par RFF pour ce type d'opérations sur les lignes de catégorie UIC 7-8-9 « avec voyageurs »¹ fait que, en pratique, la politique retenue sur ces types de ligne est celle dite du « plancher continu » où seuls les constituants détectés défectueux sont remplacés à l'unité.

3.6.2- Maintenance effectivement réalisée par la région SNCF de ClermontFerrand.

Ci-dessous sont relevées les interventions notables de maintenance effectuées dans un passé récent, au voisinage du PK 692:

- 29 juillet 1999 : dans la zone du PK 692, un about de rail (rail de la file haute) présente une fissuration longitudinale au raccordement âme/patin (défaut codifié « 1231 » dans la base de donnée Rex, classé S dans la hiérarchie des urgences d'intervention). Pour y remédier, un coupon de rail de 6 m est mis en place au PK 692,480. L'éclisse se trouve côté Neussargues; côté Saint-Flour, le coupon de remplacement est soudé au rail existant par une soudure aluminothermique qui se situe entre deux traverses espacées de 80 cm, quasiment au milieu de cet intervalle,
- mars 2000 : l'auscultation des rails aux ultrasons à l'aide d'un engin spécialisé est réalisée. Aucune anomalie n'est détectée dans ce secteur du PK 692. Le référentiel de maintenance prescrit une périodicité de 8 ans pour cette opération,
- année 2002 : graissage des joints de rail, sans démontage,
- année 2003 : le renouvellement de voie et ballast (RVB*) envisagé pour cette année est supprimé,
- mars 2004 : réalisation d'un contrôle aux ultrasons des abouts de rail (le référentiel de maintenance indique une périodicité de 3 ans). Rien n'est détecté dans cette zone,
- novembre 2004 : pour pallier le RVB supprimé l'année précédente, un remplacement de 2 800 traverses est effectué sur le tronçon des PK (690 – 702) en utilisant la machine à remplacer les traverses (MRT). Plus précisément, à proximité de la soudure aluminothermique du PK 692,480, 29 traverses bois neuves sont introduites en substitution des anciennes (du PK 692,400 au PK 692,500). Un bourrage mécanique lourd est ensuite réalisé pour ajuster le calage des traverses neuves par action sur la ballast qui a été introduit sous ces traverses,
- printemps 2005 : remplacement des coussinets rompus sur la zone des traverses remplacées (PK 692 à 693). Au 5 janvier 2006, il reste 9 coussinets rompus à remplacer; il y a eu des ruptures de coussinets sur les vieilles traverses attenantes aux traverses remplacées. En continuité, quatre opérations de nivellement sont réalisées pour aboutir à une stabilisation du nombre de coussinets cassés.

Lors de ces opérations, un sur écartement de voie est repéré cinq mètres en aval de la soudure aluminothermique; il y est remédié par la pose d'un barre d'écartement.

¹ Par exemple, en 2005, sur un budget total de 900 M€ consacré aux opérations de régénération, les dépenses engagées sur les lignes des catégories UIC 7, 8 et 9 ont été limitées à 4,6 M€.

* Terme figurant dans le glossaire

- 21 octobre 2005 : réalisation d'une tournée visuelle à pieds (périodicité d'un an); rien n'est à signaler,
- 15 novembre 2005 : enregistrement de la géométrie de la voie avec l'engin Matisa. (cf § 4.4.2 ci-après),
- 18 janvier 2006 : tournée en cabine de conduite (périodicité de trois mois); rien n'est à signaler,
- 16 février 2006 : tournée visuelle à pieds (périodicité de trois semaines) effectuée par le chef d'équipe voie: rien n'est à signaler.

On notera que la maintenance corrective a été réalisée conformément aux référentiels et que la fréquence des tournées de surveillance a été accrue par rapport aux obligations figurant aux dits référentiels.

4- Compte rendu des investigations

4.1- Résumé des témoignages.

4.1.1- Le conducteur du 5941

Le conducteur du train 5941 a déclaré lors de son audition par la gendarmerie ne rien avoir vu d'insolite sur la voie. En arrivant vers le PK 692,450, il a senti la locomotive s'affaisser et glisser vers la droite de la voie. Le conducteur a freiné, le train a ralenti, la locomotive a heurté un poteau caténaire et s'est immobilisée contre le talus.

4.1.2- Le contrôleur du 5941

Une fois effectué le comptage des clients après le départ de Neussargues, la contrôleuse regagne son compartiment de service pour rassembler ses documents. Elle se trouve à ce moment-là debout semi-inclinée dans le sens de la marche du train, tandis que le train a repris sa marche normale après avoir dépassé la zone de ralentissement.

Soudain, un choc anormal se produit qui la fait basculer en avant; elle ressent que le train est sorti des rails et roule sur le ballast pendant quelques instants, puis s'immobilise.

Elle diffuse les annonces de sécurité réglementaires, s'enquiert de la santé du conducteur, et avec son accord compose sur son téléphone portable le « 18 ».

4.1.3- Le conducteur du train précédent 5940

Il s'agit du même conducteur que pour le train 5941, et celui-ci n'a rien vu ni ressenti lors de ce voyage Saint-Chély d'Apcher / Neussargues.

4.1.4- Le contrôleur du train précédent 5940

Ce contrôleur déclare n'avoir constaté aucun choc anormal; il ajoute que s'il avait ressenti un tel choc, il aurait appliqué la procédure d'urgence (action sur le signal d'alarme).

4.2- Expertise de la conduite.

L'examen de la bande graphique montre que le train circulait à la vitesse de 73 km/h dans la zone du pk 692, la vitesse limite de circulation de la ligne à cet endroit-là étant de 75 km/h.

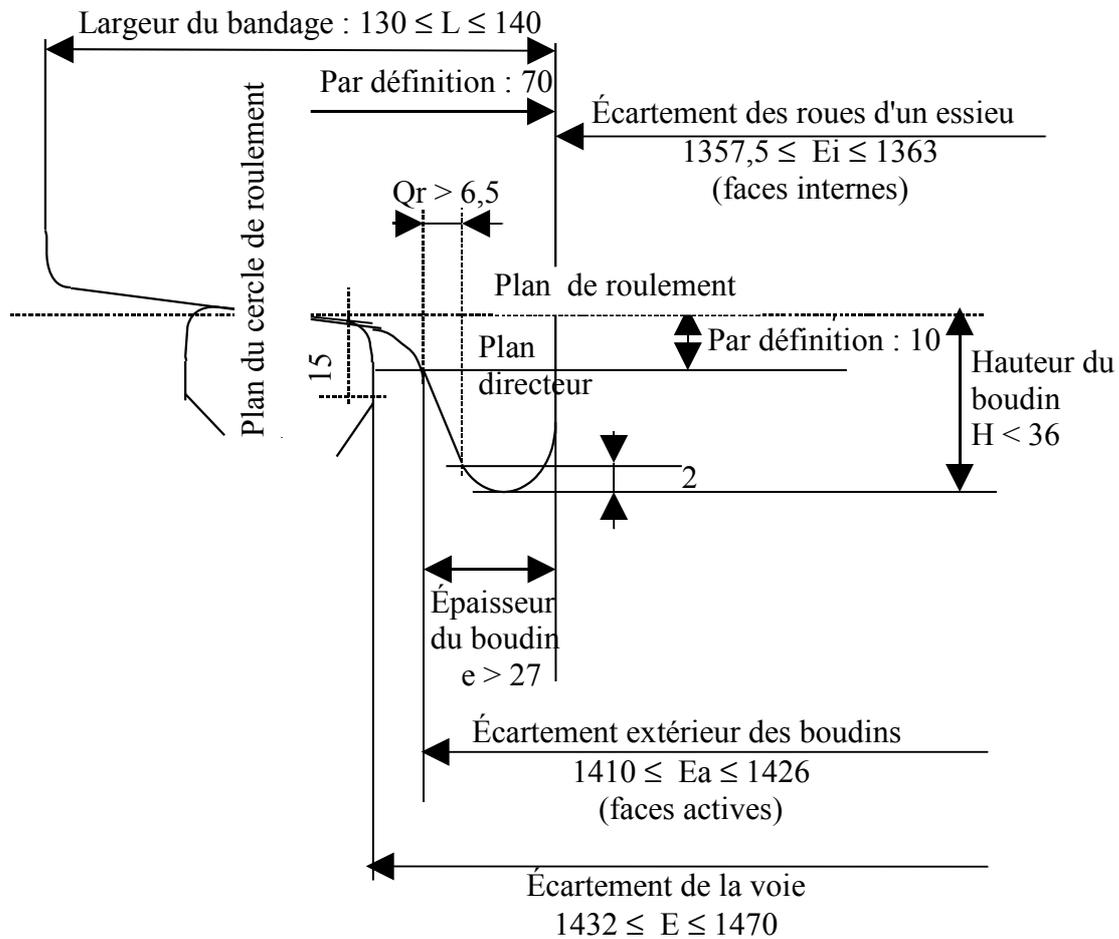
4.3- Expertise du matériel roulant (résultats)

Tous les essieux du train ont été jaugés (les quatre essieux de la locomotive et les douze essieux des trois voitures). Pour un tel événement, la locomotive étant en tête et étant le véhicule qui a déraillé le premier, l'état de ses essieux est primordial pour lui attribuer une quelconque part de responsabilité dans cette sortie de voie.

Les mesures sont résumées dans le tableau ci-dessous (longueurs exprimée en mm) :

Paramètres	Référentiel	Voitures	Locomotive
Qr	>6,5	Min = 9,7	Min = 9
Ei	1357,5< <1363	1358<Ei<1360	1358,2<Ei<1359,8
Ea	1410< <1426	1416<Ea<1422	1417,4<Ea<1418,1
e	>27	Min = 28,4	Min = 28,4
H	<36	Max = 32,8	Max = 30

Cote et position de l'essieu sur le rail



Les cotes critiques des essieux sont incluses dans les fourchettes du référentiel. On peut donc affirmer que le matériel roulant est hors de cause dans cet événement et n'introduit aucun facteur aggravant de quelque nature que ce soit.

4.4- Expertise de la voie :

4.4.1- Expertise des rails (dont le rail en cause)

Le coupon comportant la soudure aluminothermique rompue a été analysé par le Centre d'expertise Rail IG-EV de Saint-Ouen.

Les examens et essais ont été réalisés selon les documents:

- NF A 05 153, produits sidérurgiques, examen macroscopique par attaque aux sels de cuivre,
- NF A 05 150, produits en acier, technique d'examen micrographique.

Un examen photographique détaillé met en évidence une rupture transversale verticale au droit du changement de section (entre le rail côté Saint-Flour et la soudure aluminothermique) d'une soudure aluminothermique entre deux rails DC.

L'examen fractographique montre qu'il s'agit d'une rupture brutale fragile dont l'origine se

situé sur une soufflure présente au changement de section.

Finalement, les différents examens et essais réalisés sur la soudure aluminothermique rompue ne mettent pas en évidence d'anomalie pouvant engendrer la rupture de cette soudure dans des conditions normales d'utilisation. La rupture brutale initiée sur soufflure débouchante située sur un changement de section (site de concentration de contraintes) a donc probablement pour origine les sollicitations en service. La photo de l'annexe 4 fait apparaître que la rupture est située juste après le bourrelet de soudure, c'est à dire à l'endroit où la quantité de métal se réduit.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a été sollicité pour donner son avis sur l'expertise réalisée par le Centre d'expertise Rail de la SNCF. Le LCPC a confirmé le résultat:

« ...le défaut présenté comme amorce est situé dans le métal d'apport en dehors de la zone de fusion du rail lui-même (zone de collage entre métal d'apport et rail).....la rupture du rail est liée à la fragilité du matériau et à la présence de points singuliers créés par la soudure par aluminothermie. La petite soufflure observée dans le métal fondu est l'une des particularités ayant pu amorcer la rupture fragile* du rail.... ».

4.4.2- Expertise de la géométrie de la voie

Le dernier enregistrement de la géométrie de la voie date du 15 novembre 2005. Son examen montre un état géométrique médiocre, tant pour le nivellement longitudinal que pour le dressage. Le **nivellement** de la voie est correct lorsqu'en alignement les deux files de rail se trouvent de niveau dans un même plan; en courbe circulaire, les deux files de rail se trouvent à des niveaux différents bien déterminés pour tenir compte de la force centrifuge, la différence constante de niveau étant appelée « dévers ». Le **dressage** de la voie se caractérise, en alignement, par une file de rails (ou l'axe de la voie) rectiligne; en courbe circulaire, les flèches relevées sur des cordes égales sont régulières.

- le nivellement longitudinal est médiocre, la plupart des joints sont bas. Toutefois, les joints étant concordants, les gauches restent dans des limites acceptables. Ces défauts de nivellement trouvent leur origine dans la quasi absence de ballast et l'état du matériel de voie notamment aux joints,
- le dressage est très médiocre même si, d'une façon générale, il semble mieux maîtrisé dans les raccordements qu'en pleine courbe; ces défauts trouvent leur origine dans la difficulté de maintenir un tracé correct aux joints, à cause notamment de l'état du ballast et du matériel de voie, et de l'usure différenciée des rails entre la pleine barre et la zone des joints,
- à ces défauts de géométrie des files directrices s'ajoutent des défauts d'écartement qui frôlent parfois la limite de 1 470 mm. Ces défauts d'écartement trouvent leur origine dans l'état du matériel de voie (traverses et attaches). L'écartement de la voie, mesuré de part et d'autre de la rupture du rail, à l'avant du bogie non déraillé, est de 1 456 mm et 1 458 mm.

Toutefois, et en conclusion de ce paragraphe, on peut dire que les enregistrements de la géométrie de la voie effectués le 15 novembre 2005 permettent la circulation des trains à 75 km/h et que la zone du PK 692 (zone du déraillement) n'est pas affectée d'une qualité géométrique distincte de celle des autres zones équipées de rail DC de cette section de ligne.

4.4.3- Expertise des autres constituants : ballast, traverses, attaches

Les services de la direction de l'infrastructure de la SNCF ont examiné la voie sur une longueur totale de trois kilomètres, en trois zones définies : dans le secteur du déraillement, en amont au PK 688,000 et en aval dans la zone voisine du viaduc de Garabit.

* Terme figurant dans le glossaire

Les deux zones ci-dessus autres que celles du déraillement sont encore plus dégradées, bien qu'elles aient bénéficié d'un remplacement de traverses très dense.

Le mauvais état des traverses affaiblit la fixation des coussinets, ce qui se traduit par un chariotage (déplacement perpendiculaire à l'axe de la voie) et/ou un encastrement des coussinets dans la traverse, engendrant ainsi un sur écartement de la voie.

Le travelage de la voie (quantité de traverses par unité de longueur) est irrégulier.

L'examen des rails en amont du point de déraillement, sur 300 m, n'a pas fait apparaître de soudure.

L'état de l'armement de la voie est le suivant:

- Ballast. Le ballast n'est présent qu'en surface. Les traverses sont posées sur un mélange de terre et de gravier (annexe 6). On relève des remontées boueuses en amont de la zone.
- Traverses. Le bois des traverses d'origine est en très mauvais état : il est spongieux sous le coussinet et autour des tire-fonds (annexe 5). Beaucoup de traverses sont danseuses (annexe 7).
- Coussinets. Quelques-uns sont cassés. Certains coussinets se sont déplacés sous l'effet du chariotage qui est un déplacement du coussinet par rapport à l'axe de la voie dans le sens d'une augmentation de l'écartement de la voie (annexe 5). Beaucoup de coussinets sont encastres dans la voie, et basculent vers l'extérieur. Certains coussinets peuvent présenter simultanément ces deux défauts : déplacement transversal et encastrement dans le bois.

Une intervention de reprise d'écartement/consolidation était prévue pour la semaine 9 (27 février – 03 mars).

- Coins. Le coinçage des rails est globalement maîtrisé. La chute d'un coin est souvent due à une rupture du coussinet ; la chute du coin permet de repérer les coussinets qui sont cassés.
- Tire-fonds. Beaucoup n'assurent plus le serrage des coussinets sur les traverses (annexe 8). Pour le cas des traverses dont la fixation des tire-fonds a été résinifiée (introduction d'une résine dans le taraudage tire-fond/traverse), la solidité de la fixation n'a pas été renforcée : les trous très ovalisés dans du bois très spongieux ne donnent plus prise à la résinification (annexe 9).
- Joints de rails. Les ouvertures de joints semblent conformes, car il n'a pas été trouvé de joints fermés par température fraîche.
- Travelage. L'espacement moyen entre traverses est de 80 cm (travelage nominal de 73 cm pour ce type de voie). Du fait du cheminement du rail, certaines traverses se translatent, augmentant ainsi l'espacement inter-traverses jusqu' à un mètre. Selon les agents de maintenance de la voie, la déformation du rail sous le poids du train est perceptible, notamment dans les zones de plus grand espacement.
- Géométrie. Le **sur écartement** est le défaut majeur qui se retrouve quasi-systématiquement à cause du mauvais état des traverses.

Le sur écartement est dû au chariotage des coussinets (bois pourri autour des tire-fonds) et au basculement de ceux-ci vers l'extérieur, par encastrement. Le bois sous le coussinet est devenu spongieux.

- Nivellement. Chaque remplacement de traverse s'opère avec une adjonction de ballast tandis que les traverses encadrantes restent posées à même la terre. Cette disparité de calage crée des zones de traverses danseuses qu'il est difficile de maîtriser.

4.4.4- Expertise des conditions de réalisation de la maintenance.

En ce qui concerne les échéances de réalisation de la maintenance courante, il a été relevé :

	Prescription du référentiel	Réalisation
Enregistrement de la géométrie	1 / an	4 / an
Tournée à pied d'équipe	Toutes les 8 semaines (+/- 2)	Toutes les 3 semaines
Tournée en train	Tous les 1 à 3 mois	Tous les 3 mois
Prospection attaches	Tous les 8 ans (+/- 2)	Tous les 8 ans (+/- 2)
Examen des coins (yc Rpl)	Tous les 6 ans	Lors de chaque tournée
Graissage des joints	Tous les 6 ans	Tous les 6 ans

L'ensemble des responsables de la maintenance et de leurs agents sont particulièrement vigilants à l'évolution de la dégradation du matériel de voie et à la détérioration de la géométrie de cette voie. Les ruptures de coussinets sont recherchées attentivement à chaque tournée de surveillance. De même, pour chacune de ces tournées, la remise en état du « coinçage » est réalisé systématiquement.

Les acteurs de la maintenance exercent une extrême vigilance sur l'évolution du chariotage (déplacement interne du coussinet sur la traverse, du fait de l'ovalisation des trous de tirefonds) et l'encastrement des coussinets sur les traverses, pour éviter une dérive non maîtrisée du sur écartement de la voie.

Lorsqu'il devient nécessaire d'effectuer un remplacement isolé de traverse, les trous de tirefonds sont percés à la demande en fonction de la géométrie de la voie à ce niveau là, ce qui peut conduire à mettre en voie des traverses neuves déjà quasiment en sur écartement. Pour éviter d'être confronté à cette situation anormale, l'établissement s'efforce de réaliser des remplacements denses de traverses.

La « résinification » des attaches consiste à injecter une résine pour enrober le tirefond dans son logement et constitue une méthode de consolidation ultime. Cette méthode n'a pas donné les résultats escomptés sur les zones traitées de la sorte.

En définitive, les constats effectués sur la réalisation de la maintenance ont montré le respect des règles en vigueur de surveillance et de maintenance de la voie.

4.4.5- Évènements antérieurs de nature comparable.

Sur la région de Clermont-Ferrand.

Aucun déraillement semblable n'a été enregistré auparavant sur la région de Clermont-Ferrand.

Au niveau national.

Un déraillement sur rail DC a eu lieu le 26 janvier 2002 sur la ligne Portet-Saint-Simon / La Tour de Carol (Ariège) / Puigcerda. La cause en était la rupture du système d'attache, les conditions de circulation (courbes très serrées de rayon inférieur à 250 m et circulation de locomotives BB 8500) entraînant des efforts trop importants compte tenu de la vétusté du matériel de voie.

Les mesures prises ont été la mise en place d'une limitation de vitesse à 50 km/h et la

limitation d'emploi des locomotive BB 8500.

4.4.6- Historique des modifications de la planification d'entretien sur ce tronçon de ligne depuis 1999.

Jusqu'en 1995, environ 1 500 traverses étaient remplacées chaque année sur le tronçon Loubaresse - Neussargues. En 1995, l'annonce de la perspective d'un RVB conduit à réduire les remplacements de traverses. Dès lors, seules quelques centaines de traverses sont remplacées chaque année. En 1997, confirmation de la réalisation du RVB. En 2003, annonce de la suppression du RVB. Pour rattraper le retard de remplacement de traverses, 5600 traverses sont remplacées en deux ans (2004 et 2005).

Ce « rattrapage » ne suffit cependant pas à compenser l'accélération de la dégradation due à l'obsolescence des composants de la voie. La dégradation est aggravée par plusieurs facteurs: travelage insuffisant, ballast très pollué, matériel de voie en limite d'usure, circulation de « charges D » en courbes de faible rayon (wagon chargés présentant une masse à l'essieu de 22,5 tonnes).

4.4.7- Historique des réflexions et actions menées par la région sur le suivi et la résorption des fissurations de coussinets.

En janvier 2005, il est constaté une évolution anormale du nombre de ruptures de coussinets. Cette évolution semble résulter de la conjonction de deux éléments: circulation de locomotives CC 72 000 et de nombreux remplacements de traverses en 2004 et 2005.

Les décisions suivantes sont prises :

- limitation de vitesse puis arrêt de circulation des CC 72 000 en avril 2005,
- amélioration de la géométrie sur les zones de remplacement de traverses,
- enregistrement de l'écartement, des accélérations verticales et transversales,
- bourrage mécanique lourd le 18 janvier 2005,
- bourrage des joints de rail les 06 et 24 mai 2005 et le 11 octobre 2005,
- mise en place d'un suivi de l'évolution des ruptures de coussinets et de leur remplacement,
- resserrement de la périodicité des tournées de surveillance à pied (trois semaines au lieu de six à huit semaines),
- resserrement des enregistrements de la géométrie de la voie (quatre fois par an au lieu d'une fois).

5- Déroulement de l'accident.

5.1- Le contexte de la voie.

La section de ligne ferroviaire objet de ce rapport, supportant un trafic très modeste, est d'un armement obsolète. Les rails, d'une conception dépassée, sont très anciens (fabrication 1931, pose 1932), ne sont plus fabriqués depuis longtemps et ne sont donc plus approvisionnés. Les services de maintenance sont ainsi obligés, lorsqu'une avarie affecte partiellement un rail, de couper la partie malsaine et de souder un coupon sur la partie saine; le nombre de soudures en voie augmente ainsi constamment.

La distance entre traverses est accrue du fait d'un travelage moins serré en comparaison du travelage des voies modernes, ce qui crée des points de fragilité Il en résulte que l'impact du passage des essieux sur le moment de fléchissement du rail est plus important (distance entre traverses plus important); une soudure se trouvant entre deux traverses subira des efforts plus importants qu'avec un travelage moderne.

La pose des traverses date de 1951/1952 : faute d'une régénération d'ensemble, les traverses, qui sont maintenant très dégradées, sont remplacées au cas par cas selon expertise individuelle.

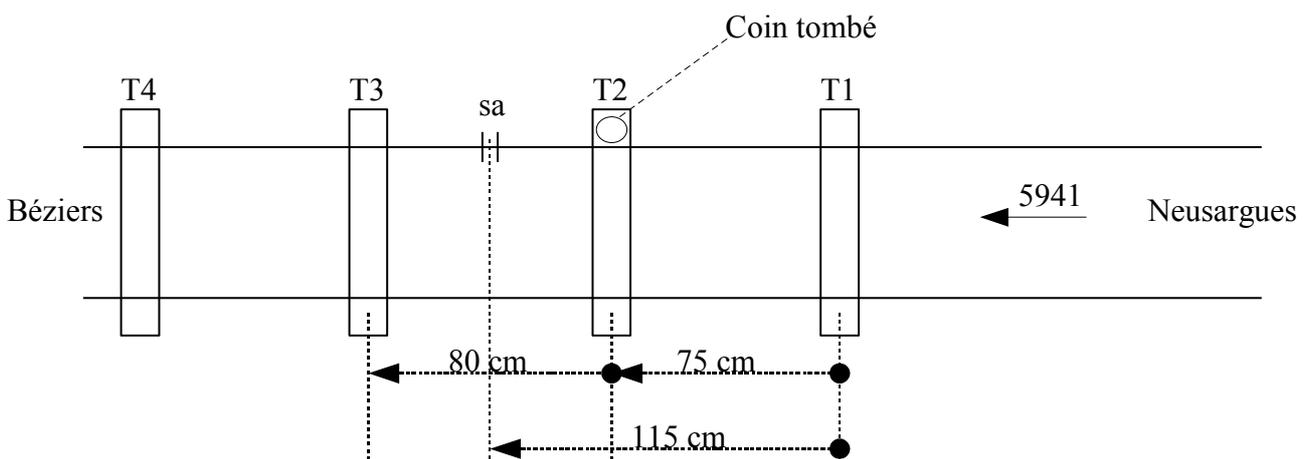
Le ballast, destiné à assurer le maintien et la stabilité de la voie, a quasiment disparu; il ne peut plus jouer son rôle.

Une situation paradoxale se présente du fait de cette situation : le remplacement au cas par cas des traverses conduit au phénomène de « traverses danseuses » de par l'hétérogénéité de l'assise des traverses consécutives; un nivellement correct ne peut plus être rétabli à cause de l'absence de ballast. Le rail est ainsi soumis à des contraintes supérieures par rapport à une situation d'un nivellement correct.

5.2- Scénario probable décrivant les conditions du déraillement

5.2.1. Etat de la voie dans la zone de rupture.

La voie dans la zone de la rupture du rail peut se schématiser de la façon suivante :



Légende : sa = soudure aluminothermique au pk 692,480
T = traverses en voie
T3= traverse neuve remplacée en 2003

- le ballast n'est présent qu'en surface; les traverses sont posées sur un mélange de terre et de gravier,
- le bois des traverses (hormis la travers T3) est en très mauvais état : il est devenu spongieux sous les coussinets et autour des tire-fonds.

Il en résulte que l' assemblage « coin/rail/coussinet/traverse » (cf photo en annexe 5) présente une assise (de coussinet) flottante; le coin est fortement sollicité.

- la traverse T3 est « danseuse » : elle a été remplacée en novembre 2004 lors d'une opération d'ensemble sur la zone effectuée à la machine MRT. L'hétérogénéité du calage de cette traverse par rapport aux traverses contiguës engendre une danse d'environ 10 mm de cette traverse T3 sous chaque passage de roue.

5.2.2.Les efforts subis :

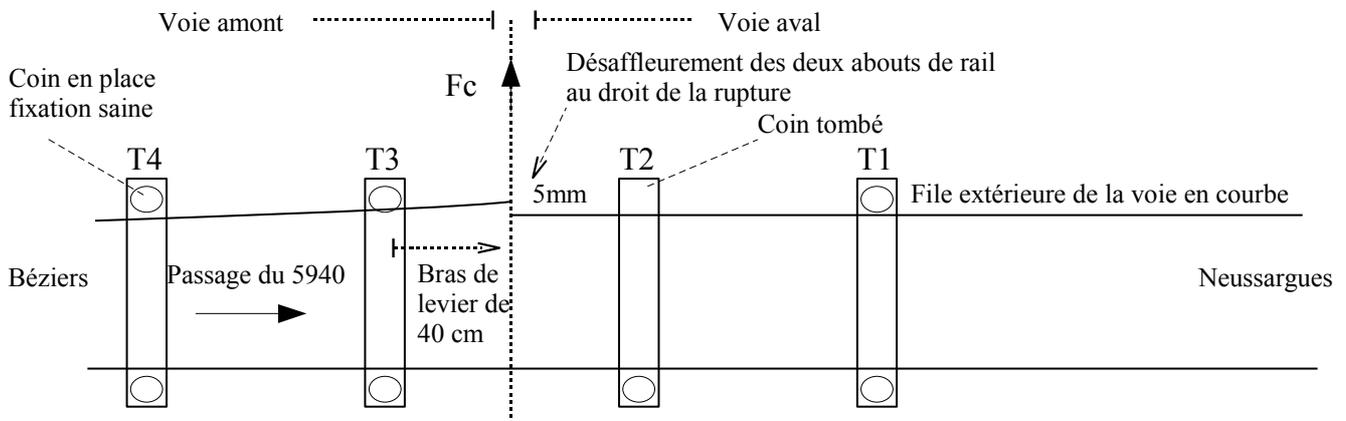
- la danse de la traverse T3 engendre une flexion importante du rail entre les traverses T2 et T4. La soudure sa subit en conséquence des efforts de flexion et de cisaillement importants,
- le coussinet de la traverse T2 fléchit en fonction des efforts engendrés par la charge des trains, au gré de sa fixation spongieuse. Le coin contre le rail extérieur est fortement sollicité sous les efforts centrifuges.

Lors de la tournée à pied par le chef d'équipe voie du 16 février 2006, rien d'anormal n'est détecté en ce qui concerne l'assemblage rails sur traverses.

5.2.3.L'évènement (hypothèse la plus vraisemblable) :

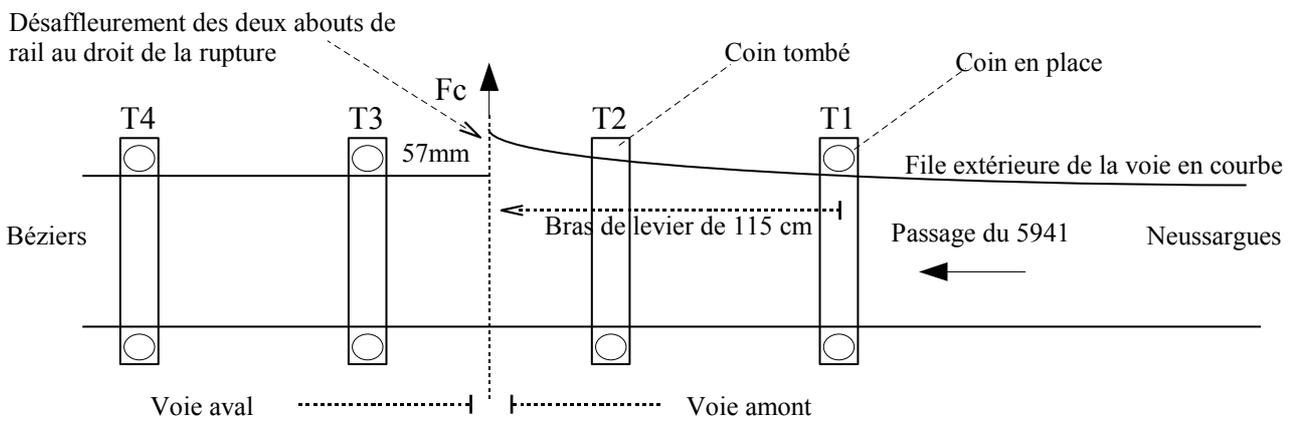
- le coin extérieur de la traverse T2 est éjecté sous l'effet des efforts centrifuges du rail et des déplacements consécutifs au maintien insuffisant du coussinet. Le rail extérieur présente une plage de débattement horizontal possible. Cet évènement a pu vraisemblablement se produire après la tournée à pied du 16 février 2006,
- la soudure sa est doublement sollicitée : sollicitations verticales au passage des roues accentuées du fait de la flexion s'exerçant entre les traverses T2 et T4, sollicitations horizontales du fait de la perte du coin extérieur T2. Finalement, sous le passage des roues du train 5940 du 25 février 2006, la soudure sa se rompt brutalement,
- le bras de levier du rail extérieur, entre l'abscisse de la cassure et la fixation de ce rail sur la traverse T3 est de 40 cm. Sous l'effort centrifuge exercé par l'essieu de la locomotive se produit un désaffleurement de l'about amont par rapport à l'about aval. Le département « Études voies de la SNCF- IG-EV » évalue selon trois méthodes ce désaffleurement, il est compris dans l'intervalle (2,4 mm - 4,8 mm). Le schéma ci-après montre que l'essieu quittant l'about amont du rail est décalé vers l'extérieur au plus de 5 mm, et aborde l'about aval suivant un cercle de roulement décalé au plus de 5 mm (par rapport au cercle central), lequel se situe encore sur la table de roulement de l'essieu. Le train 5940 passe sur le rail cassé en restant « enraillé ».

Circulation du train 5940 de Béziers vers Neussargues sur le désaffleurement de 5mm

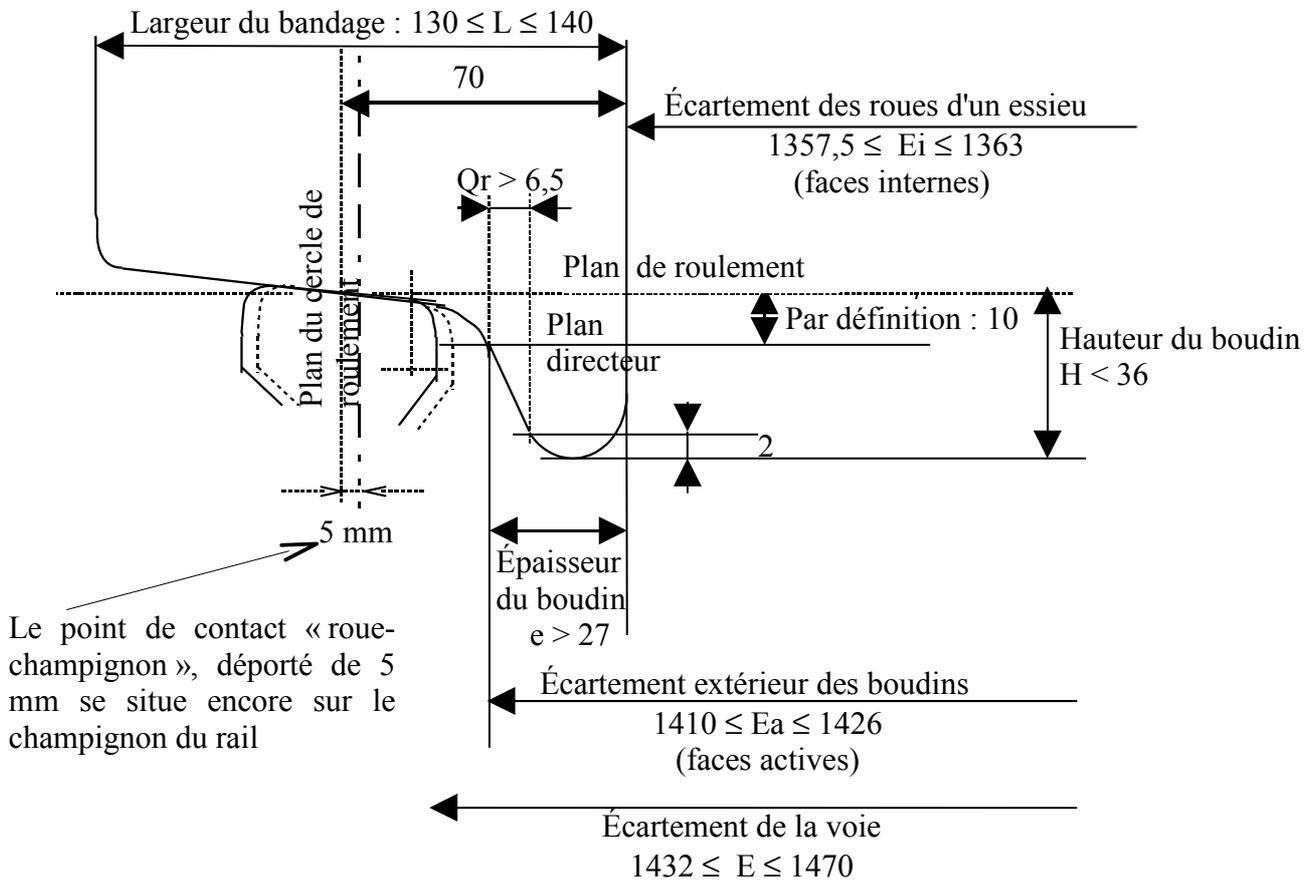


F_c = force centrifuge exercée par l'essieu sur la file extérieure du rail

Circulation du train 5941 de Neussargues vers Béziers sur le désaffleurement de 57 mm

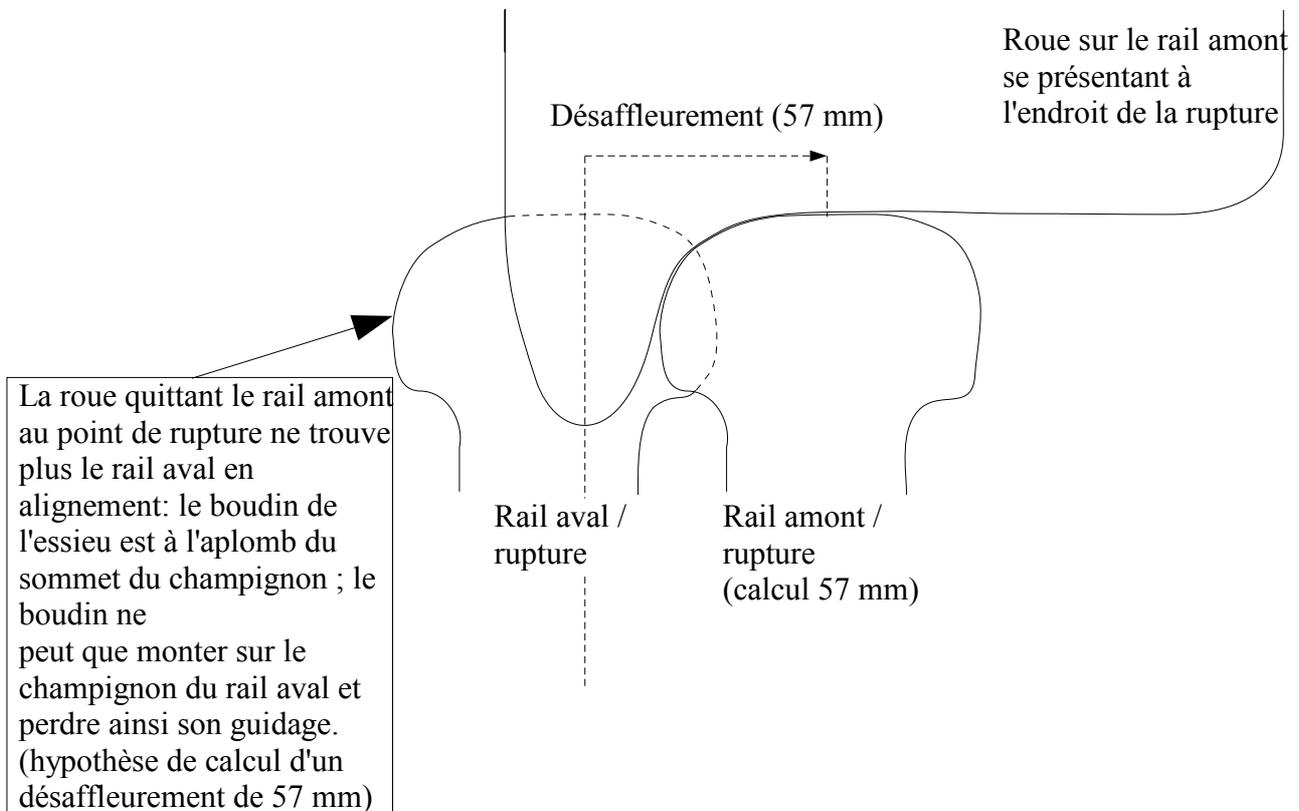


- lors de la circulation aller (train 5940), le diagramme suivant montre que les essieux du train, roulant sur la rupture de rail, ne rencontrent qu'un désaffleurement de 5 mm, qui ne rompt pas le contact « cercle de roulement » de l'essieu / champignon du rail :



- lors de la circulation retour (5941), le bras de levier entre l'abscisse de la cassure et le point de fixation du rail sur la dernière traverse efficace T1 est de 115 cm. Le premier essieu de la locomotive exerce sa poussée centrifuge sur le rail amont / cassure. Selon la méthode de calcul, le désaffleurement horizontal des deux bouts de rail est compris dans l'intervalle (57 mm ; 113 mm). Le schéma ci-après montre que lorsque la roue franchit le point de rupture, le champignon du rail aval se présente au droit du sommet du boudin de la roue. Cela signifie que le boudin de la roue extérieure du premier essieu de la locomotive monte sur le rail aval de la soudure cassée, roule sur le champignon du rail vers l'extérieur puis tombe à l'extérieur de la voie provoquant ainsi le déraillement.

Diagramme illustrant le passage du train 5941 Neussargues → Saint Flour à l'endroit de la rupture.



Dans l'hypothèse de calcul de 113 mm pour le désaffleurement, le boudin de la roue ne rencontre plus le rail aval ; l'essieu quitte immédiatement la voie et le train déraile.

5.2.4. Autre scénario possible

On pourrait également envisager un scénario variante selon lequel la rupture du rail aurait précédé l'éjection du coin de la traverse T2. En effet, on ne peut exclure totalement l'hypothèse d'une rupture fragile de la soudure consécutive aux passages des circulations sous les effets conjugués du travelage réduit, de la danse de la traverse T3 et de l'état de dégradation de la traverse T2 et de son système d'attaches. Dans cette hypothèse, les trains ne déraillent pas tant que les coins sont en place mais, les sollicitations accentuées du rail rompu sur le système coins/coussinets conduisent à l'éjection du coin de la traverse T2 et le déraillement se produit comme précisé ci-dessus du fait d'un désaffleurement des deux abouts de rails d'au moins 57 mm au passage du train 5941. Cette hypothèse ne remet pas en cause les orientations préventives établies dans le contexte du scénario de référence.

6- Analyse et recommandations préventives

L'examen du scénario du déraillement amène à rechercher les orientations préventives utiles dans les domaines ci-après:

- la réduction du risque de déraillement en cas de rupture du rail,
- la réparation des rails DC par soudure aluminothermique,
- la remise à niveau des voies (trafic voyageurs) équipées de rail DC,
- les perspectives d'évolution concernant le rail DC.

6.1- La réduction du risque de déraillement en cas de rupture du rail.

Sur le réseau ferré national, 400 ruptures de rails ont été enregistrées au cours de l'année 2005 qui ne se sont pas traduites par le déraillement d'un train. En ce qui concerne les voies équipées de rails « Vignole », la résistance aux efforts transversaux est assurée par l'encastrement du patin dans la traverse, par la mobilisation des efforts de frottement du patin sur la traverse et par une plus grande inertie du rail vis à vis des efforts transversaux.

En cas de rupture de rail, le risque de déraillement est sensiblement plus élevé sur une voie armée de rails « double champignon » que sur une voie armée de rails « Vignole ».

Il est indiqué que le réseau ferré national comprend 49 241 km de voies principales circulées, dont 1 458 km de voies armées de rails DC et circulées par des trains de voyageurs.

De plus, l'espacement des trains sur cette section de ligne est assuré par un block automatique à permissivité restreinte, de type « à compteur d'essieux ». Ce type de signalisation ne permet pas, contrairement au block « à circuit de voie », la détection par la signalisation des ruptures de rails. En effet, dans les blocks à circuit de voie, une rupture du rail amène une rupture électrique du circuit de voie, lequel agit sur la signalisation en fermant l'entrée du canton où s'est produit la rupture; dans ces conditions, aucun train ne peut aborder inopinément la zone dangereuse.

La modicité du trafic de la ligne ne permet pas de justifier un équipement de block par circuit de voie.

Compte tenu de l'absence de détection automatique de rupture de rails sur cette section de ligne, comme sur la plupart des lignes équipées de rails DC et dans l'attente de la réalisation d'un programme de remise à niveau de ce type de ligne, il convient de prendre des mesures susceptibles de réduire fortement le risque d'un déraillement suivant le scénario de Saint-Flour. A cet effet, et tant que la voie n'a pas été améliorée, seule une réduction sensible des efforts transversaux pourrait éviter en cas de rupture de rail, le désaffleurement origine du déraillement. A court terme, seule une limitation des vitesses peut réduire ces efforts.

Recommandation R1 (SNCF) : établir une méthodologie permettant de définir, sur les lignes équipées de rails DC, en fonction notamment de l'armement, de l'état de la voie, de son tracé, de la topographie et du type de signalisation, des « zones particulières » où seraient prescrites des limitations de la vitesse des trains à un taux permettant d'éviter le déraillement en cas de rupture de rail.

Cette limitation de vitesse devrait avoir un caractère provisoire dans l'attente de la réalisation des travaux permettant de classer chaque section de ligne correspondante hors « zone particulière ».

6.2- La réparation des rails « double champignon » par soudure aluminothermique.

Sur le réseau ferré national et pour tous types de rails confondus, il a été enregistré en 2005 150 ruptures fragiles de soudures aluminothermiques (soit 37 % du total des 400 ruptures de rails enregistrées cette année-là), chiffre qu'il convient de comparer aux 55 000 soudures aluminothermiques qui ont été réalisées en voie au cours de la même année. Comme précisé ci-avant, la quasi totalité de ces ruptures n'ont pas entraîné de déraillement grâce, d'une part à la détection automatique des ruptures de rails sur les lignes équipées de circuit de voie et, d'autre part, au maintien des abouts de part et d'autre de la rupture, même en présence d'efforts transversaux, sur les voies équipées de rails Vignole.

Aussi, compte tenu des circonstances ayant conduit au déraillement, il semble logique d'éviter la multiplication du nombre de soudures et donc de bannir la réparation de ces rails par adjonction d'un coupon soudé.

Recommandation R2 (RFF, SNCF) : en cas de défaut constaté dans le rail DC qui nécessite le remplacement de la partie malsaine, il faut éviter, autant que faire se peut, d'opérer par soudure mais remplacer le rail en totalité.

Pour appliquer cette recommandation, il faut disposer de rails DC en réserve, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui, étant précisé que ces rails ne sont plus laminés, et ce depuis très longtemps, par l'industrie sidérurgique. Il est donc nécessaire de constituer un stock de rails DC à disposition des équipes chargées de la maintenance, et pour ce faire, soit récupérer les rails de voies de service devenues inutiles, soit lors de régénérations de certaines portions de lignes équipées de rails DC en substituant du rail « Vignole », récupérer ainsi les barres saines de rail DC.

On notera que cette recommandation suppose que ce programme touche l'intégralité des lignes que l'on souhaite maintenir équipées de rails DC, dont il existe plusieurs types non substituables entre eux (DC 44 kg Midi, DC 38 kg Midi, DC 42,540 PO, ED 42,250.....).

6.3- La remise à niveau des voies (trafic voyageurs) équipées de rails « double champignon ».

La stabilisation du nombre des soudures aluminothermiques des rails DC ne saurait constituer à elle seule une recommandation suffisante pour réduire sensiblement le risque de déraillement suivant un scénario identique à celui de Saint-Flour, compte tenu du nombre très important de soudures en voie réalisées à ce jour sur les lignes équipées de rails DC.

Il convient de s'attaquer aux causes mêmes du déraillement.

Le scénario du déraillement a fait apparaître que les facteurs aggravant étaient:

- d'une part, la quasi absence de ballast sous la voie, empêchant ainsi de réaliser un nivellement efficace et de donner une assise régulière aux traverses et aux rails. En effet, l'introduction des nouvelles traverses par l'intermédiaire d'une machine à remplacer les traverses « casse les moules » des anciennes traverses et, en l'absence de ballast, il n'est pas possible d'assurer un calage correct des traverses neuves. Celles-ci sont alors soumises au phénomène de « danse » au passage des circulations.
- d'autre part, l'état du plancher conservé en voie est tel que les méthodes de consolidation utilisées jusqu'à présent n'ont eu qu'une efficacité réduite : on arrive aux limites du système en matière de consolidation; il y a lieu de privilégier le remplacement massif de traverses, mais obligatoirement associé à un relevage (du ballast), compte tenu de ce qui précède.

Recommandation R3 (RFF, SNCF) : sur les sections de lignes équipées de rails DC, privilégier les remplacements massifs de traverses et ne procéder à ces remplacements massifs qu'associés à un relevage du ballast.

Cette recommandation suppose ainsi l'élaboration d'un programme de remplacement des traverses associé au relevage dont la philosophie est bien différente de celle de la maintenance suivant la méthode dite « du plancher continu ». Une politique de maintenance permettant la transition progressive d'une méthode à l'autre devra être définie et mise en oeuvre.

6.4- Perspectives d'évolution concernant le rail « double champignon ».

La recommandation précédente, si elle réduit le risque de rupture de rail, ne saurait l'éliminer; au vu de l'âge des rails, et indépendamment des soudures réalisées en voie, seule une véritable remise à niveau de la voie est de nature à supprimer le risque de reproduction du scénario.

Recommandation R 4 (RFF et SNCF) : établir un programme de remise à niveau des lignes ouvertes au trafic voyageurs et équipées de rail DC.

A terme, organiser le remplacement progressif des rails DC par des rails Vignole compte tenu du vieillissement de ce parc, de son coût croissant de maintenance et du risque élevé de déraillement en cas de rupture de rail.

Il faut cependant être bien conscient que, pour des raisons techniques et budgétaires, la mise en application de cette recommandation sera fortement étalée dans le temps, et à cet égard il conviendra, en premier lieu, de s'assurer de la pérennité des lignes concernées.

7- Mesures prises à la suite de l'accident :

7.1- Mesures au niveau régional

- Mesures immédiates: mise en place d'une limitation de vitesse à 55 km/h sur toute la portion de ligne située sur la région de Clermont-Ferrand.
- Mesures à court et moyen terme: remplacement du rail DC sur un kilomètre de voie (par du rail Vignole) pour constitution d'un stock de secours de rails DC et levée du ralentissement sur la zone correspondante (PK 701,600 à 702, 600). Remplacement partiel de traverses associé à un relevage partiel de ballast accompagné d'épurations localisées, sur les zones les plus dégradées (PK 673,200 à 680,000) ceci pour permettre en toute sécurité la poursuite de l'exploitation à 55 km/h.

7.2- Mesures au niveau national

- Mesures immédiates: Recensement des lignes présentant des caractéristiques identiques à la ligne Béziers-Neussargues (rail DC, rayons inférieurs à 500 m, travelage inférieur à 1 400 traverses /km, problèmes de maintenance, environnement particulier...) et mise en oeuvre d'une limitation de la vitesse des trains destinée à limiter les efforts horizontaux transversaux (vitesse à peine supérieure à la « vitesse d'équilibre »).
- Mesures à moyen terme: recensement de l'ensemble des lignes des groupes UIC 7 à 9 AV et établissement d'une grille de cotation « état de la voie / risque » permettant de définir de manière exhaustive les lignes présentant des problèmes de maintenance, et par la suite, de définir un programme d'opérations destinées à résoudre ces problèmes.

8- Conclusions.

8.1- Causes et facteurs de l'accident.

Les causes de l'accident, et le rôle qu'elles ont joué dans son déroulement, peuvent être établies en distinguant les causes immédiates liées au contexte local du déraillement, et les causes plus générales liées aux caractéristiques et conditions de maintenance de la voie (cf schéma de l'annexe 10).

Le déroulement de l'accident.

L'accident s'est déroulé, selon le scénario de référence, en quatre événements successifs:

- **l'éjection d'un coin d'attache** de la traverse T2 en mauvais état, qui rend inopérante l'attache du rail correspondante,
- **la rupture du rail** au droit d'une soudure aluminothermique, sous les efforts de circulation amplifiés par la présence d'une traverse danseuse; elle se produit brutalement au point le plus fragile du rail, sans signe avant coureur,
- **l'apparition d'un désaffleurement important** entre les deux bouts du rail rompu lors du passage du train Corail Paris-Béziers sous l'effet de la force centrifuge, accru par la perte d'attache de la traverse T2.
- **le déraillement** proprement dit, du fait de la perte de continuité du rail.

Les causes locales immédiates:

- **le voisinage d'une traverse neuve danseuse:** les efforts subis par le rail et par le coin d'attache de la traverse T2 ont été accrus du fait que la traverse T3 (neuve) était danseuse.,
- **le voisinage d'une traverse dégradée:** l'éjection du coin résulte de l'état de la traverse T2 dont le bois était très dégradé et n'assurait plus le maintien suffisant des coussinets,
- **la présence d'une soudure aluminothermique,** qui constitue un point de fragilité,
- **une courbe génératrice d'efforts transversaux:** le dévers de la courbe n'étant pas totalement compensé pour la vitesse autorisée sur cette voie, les efforts transversaux centrifuges au passage des trains provoquent un désaffleurement si le rail est rompu.

Les causes liées au contexte général de la voie:

- **le type de rail employé sur la voie concernée (rail à double champignon);** cette voie est vulnérable aux risques de déraillement en cas de rupture du rail, du fait du système d'attaches fragile et de sa moindre résistance aux efforts transversaux en cas de rupture. Le rail est « hors d'âge » et il n'existe plus d'éléments de remplacement,
- **la quasi disparition du ballast** qui ne permet plus un nivellement correct de la voie,
- **une politique de maintenance écartant toute régénération:** l'absence de remplacement du rail conduit à augmenter le nombre de soudures en voie, constituant ainsi autant de points de fragilité; le remplacement au coup par coup (méthode du « plancher continu ») des traverses anciennes par des neuves fait apparaître le phénomène de « danse » du fait de l'impossibilité de réaliser un bourrage du ballast,
- **l'absence de circuit de voie,** qui ne permet pas de détecter automatiquement les ruptures de rail, les lignes à trafic modeste n'étant en principe pas équipées,
- **le travelage réduit,** qui contribue à accroître les efforts subis par le rail,

En conclusion, il apparaît que les causes principales de cet accident sont liées à la voie et à sa politique de maintenance.

La maintenance par simple remplacement ponctuel des traverses ou réparation des rails cassés a montré ses limites, et s'avère inadaptée dans un contexte de dégradation généralisée de la voie; la disparition du ballast accroît les risque de rupture du rail, et dans un tel cas il peut apparaître un risque de déraillement compte tenu de l'emploi de rails à double champignon.

Il convient donc d'une part de prendre les mesures à court terme propres à maîtriser les conséquences d'une rupture de rail, et d'autre part de prévenir de telles ruptures en engageant une politique de maintenance et de régénération « adaptée » pour ce type de ligne à trafic modeste.

8.2- Rappel des recommandations.

Recommandation R1 (SNCF) : établir une méthodologie permettant de définir, sur les lignes équipées de rails DC, en fonction notamment de l'armement, de l'état de la voie, de son tracé, de la topographie, et du type de signalisation, des « zones particulières » où seraient prescrites des limitations de la vitesse des trains à un taux permettant d'éviter le déraillement en cas de rupture de rail.

Recommandation R2 (RFF, SNCF) : en cas de défaut constaté dans le rail DC qui nécessite le remplacement de la partie malsaine, il faut éviter, autant que faire se peut, d'opérer par soudure mais remplacer le rail en totalité.

Recommandation R3 (RFF, SNCF) : sur les sections de lignes équipées de rails DC, privilégier les remplacements massifs de traverses et ne procéder à ces remplacements massifs qu'associés à un relevage du ballast.

Recommandation R 4 (RFF et SNCF) : établir un programme de remise à niveau des lignes ouvertes au trafic voyageur et équipées de rail DC.

A terme, organiser le remplacement progressif des rails DC par des rails Vignole compte tenu du vieillissement de ce parc, de son coût croissant de maintenance et du risque élevé de déraillement en cas de rupture de rail.

ANNEXES

- Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête
- Annexe 2 : La ligne Clermont-Ferrand / Béziers dans le réseau national
- Annexe 3 : Photographie de l'accident
- Annexe 4 : La rupture de rail
 - Annexe 4-1 : version a
 - Annexe 4-2 : version b
- Annexe 5 : La voie à Saint Flour : rail DC, coussinets, patin, âme, champignon
- Annexe 6 : Quasi-absence de ballast sous la voie
- Annexe 7 : Traverse danseuse
- Annexe 8 : Tirefonds soulevés (coussinets pivotants)
- Annexe 9 : Le trou du tirefond a été résinifié
- Annexe 10 : diagramme causes – conséquences.

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



**Le Ministre des Transports, de l'Équipement,
du Tourisme et de la Mer**

BEA-TT 2006-003



DECISION

Le ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer ;

Vu la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport et notamment son titre III sur les enquêtes techniques ;

Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier susvisée, est ouverte concernant le déraillement d'un train corail survenu le 25 février 2006 entre Andelat et Saint Flour (15).

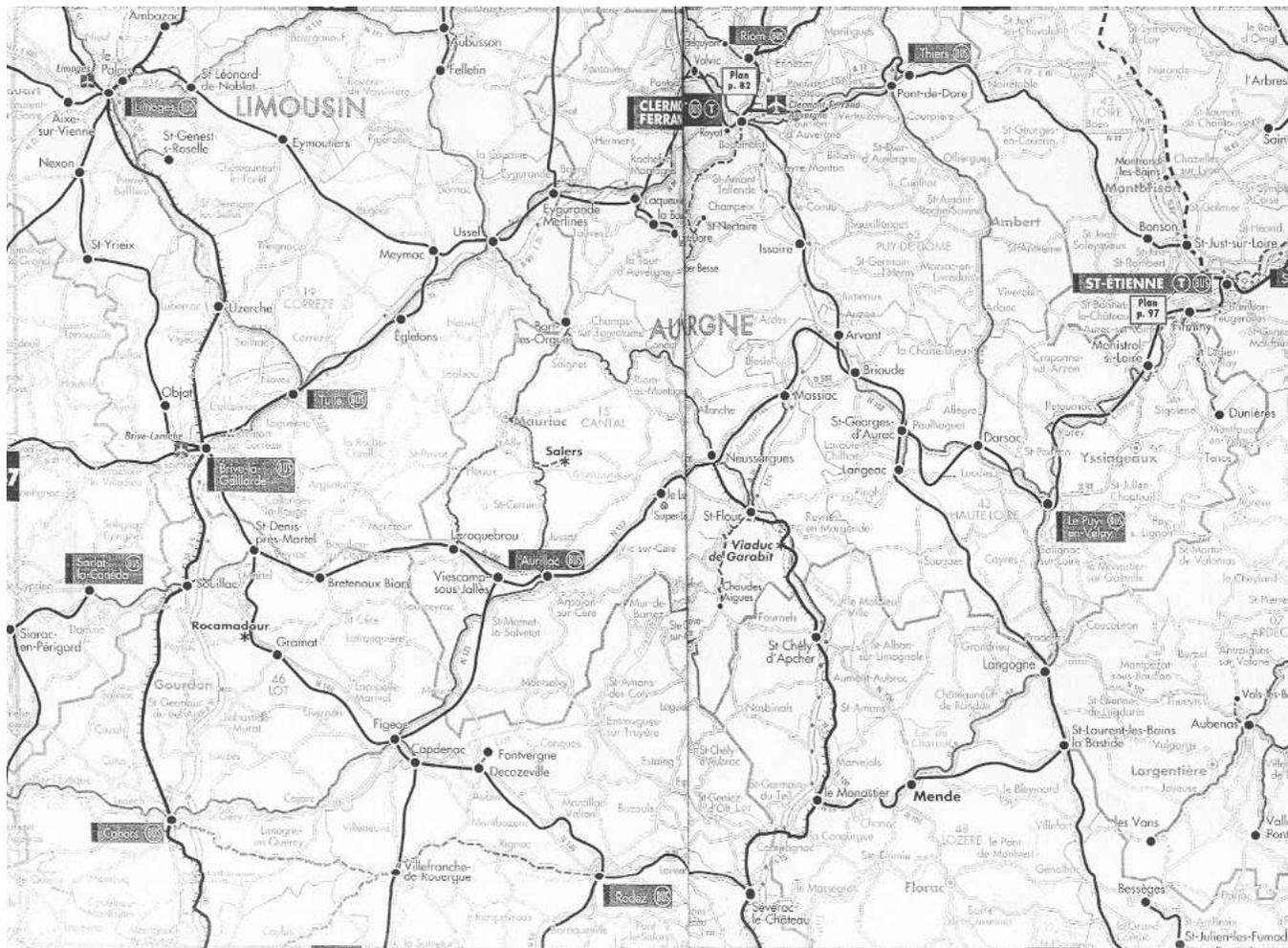
Article 2 : Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre est chargé de l'exécution de la présente décision.

Fait à Paris, le **01 MARS 2006**

Le ministre des transports, de l'équipement,
du tourisme et de la mer,

Dominique PERBEN

Annexe 2 : La ligne Clermont-Ferrand / Béziers dans le réseau national



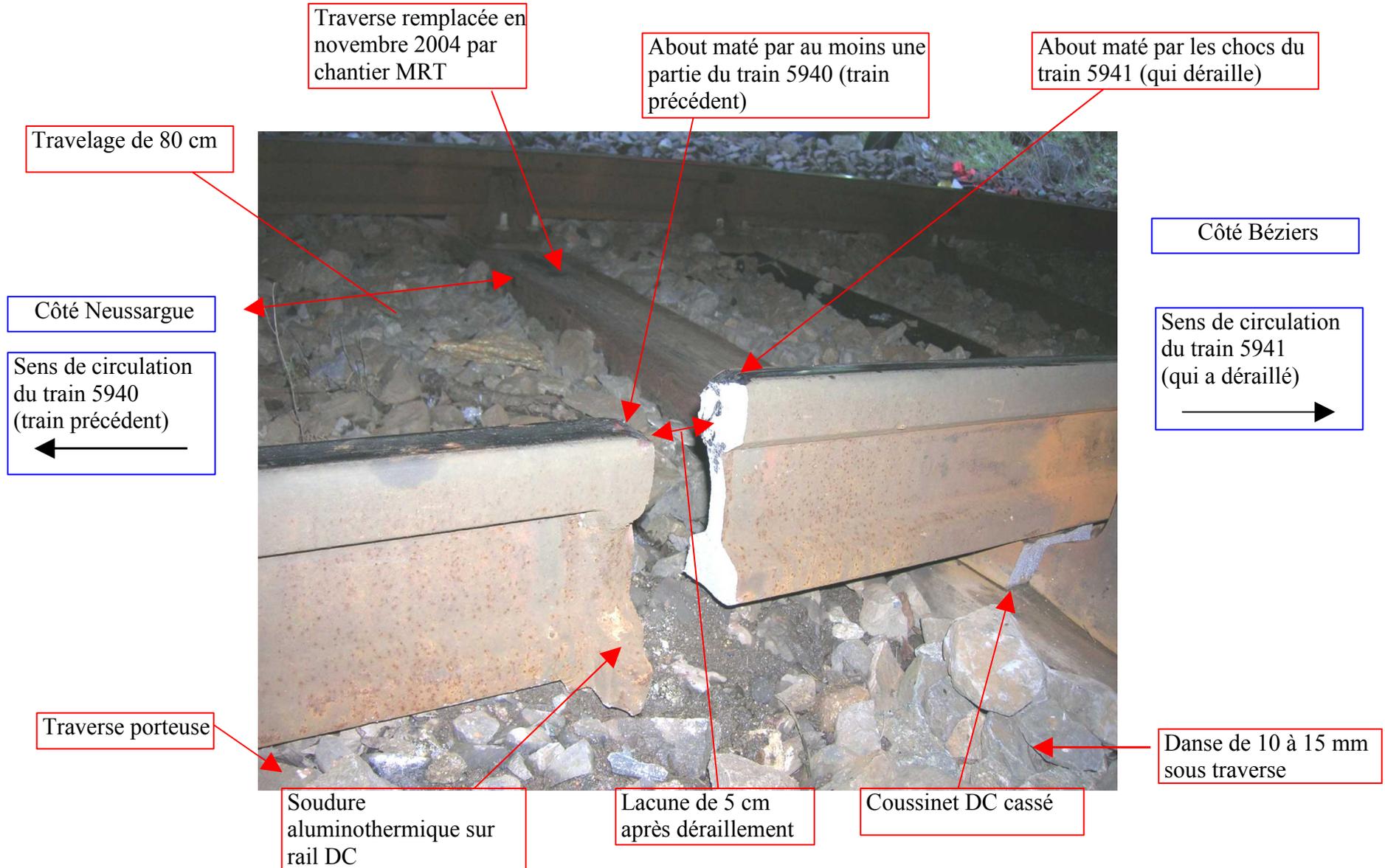
Annexe 3 : Photographie de l'accident



Annexe 4 : La rupture de rail
Annexe 4-1 : version a



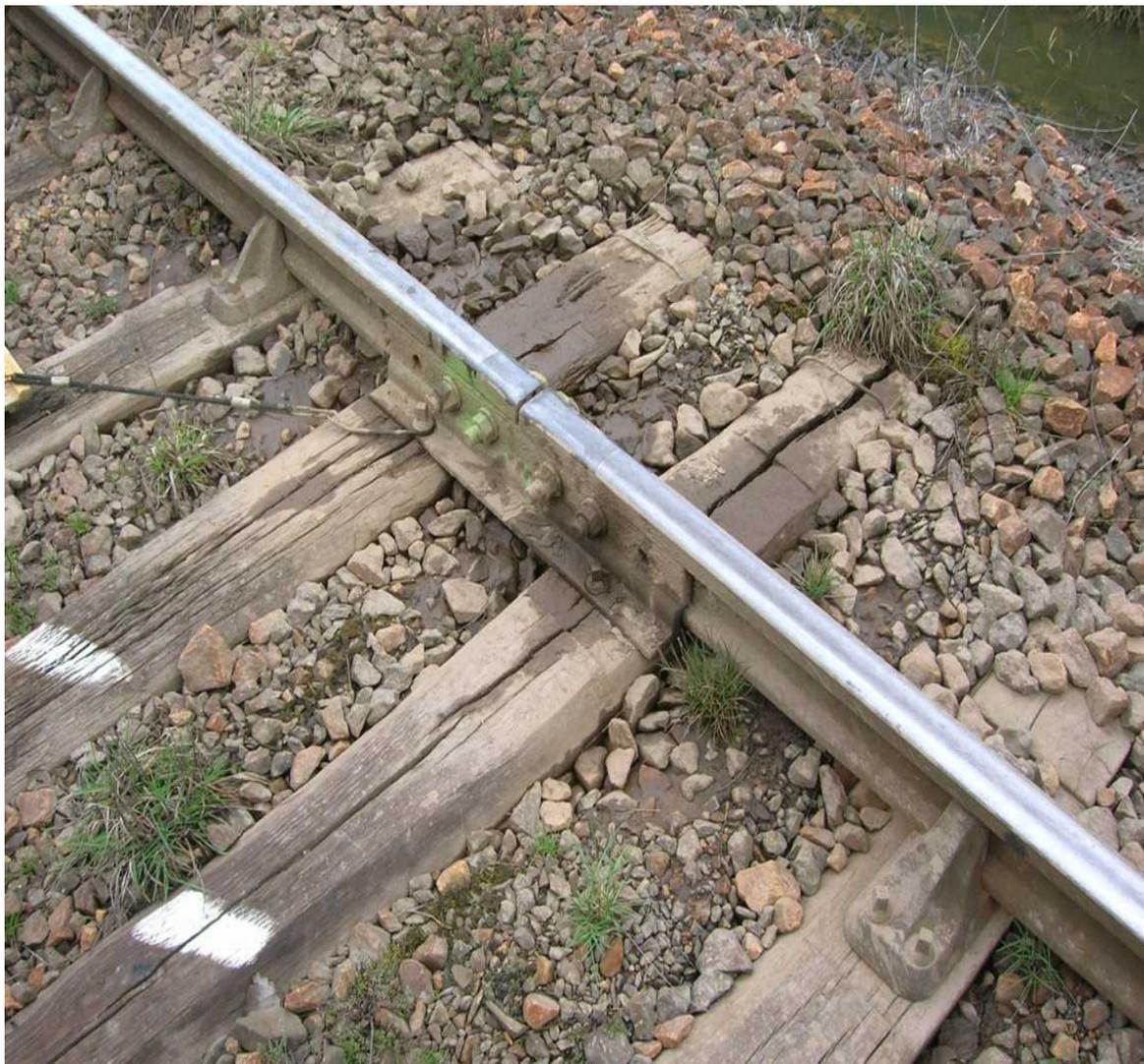
Annexe 4-2 : version b



Annexe 5 : La voie à Saint Flour : rail DC, coussinets, patin, âme, champignon



Annexe 6 : Quasi-absence de ballast sous la voie



Annexe 7 : Traverse danseuse



Traverse danseuse
marquée

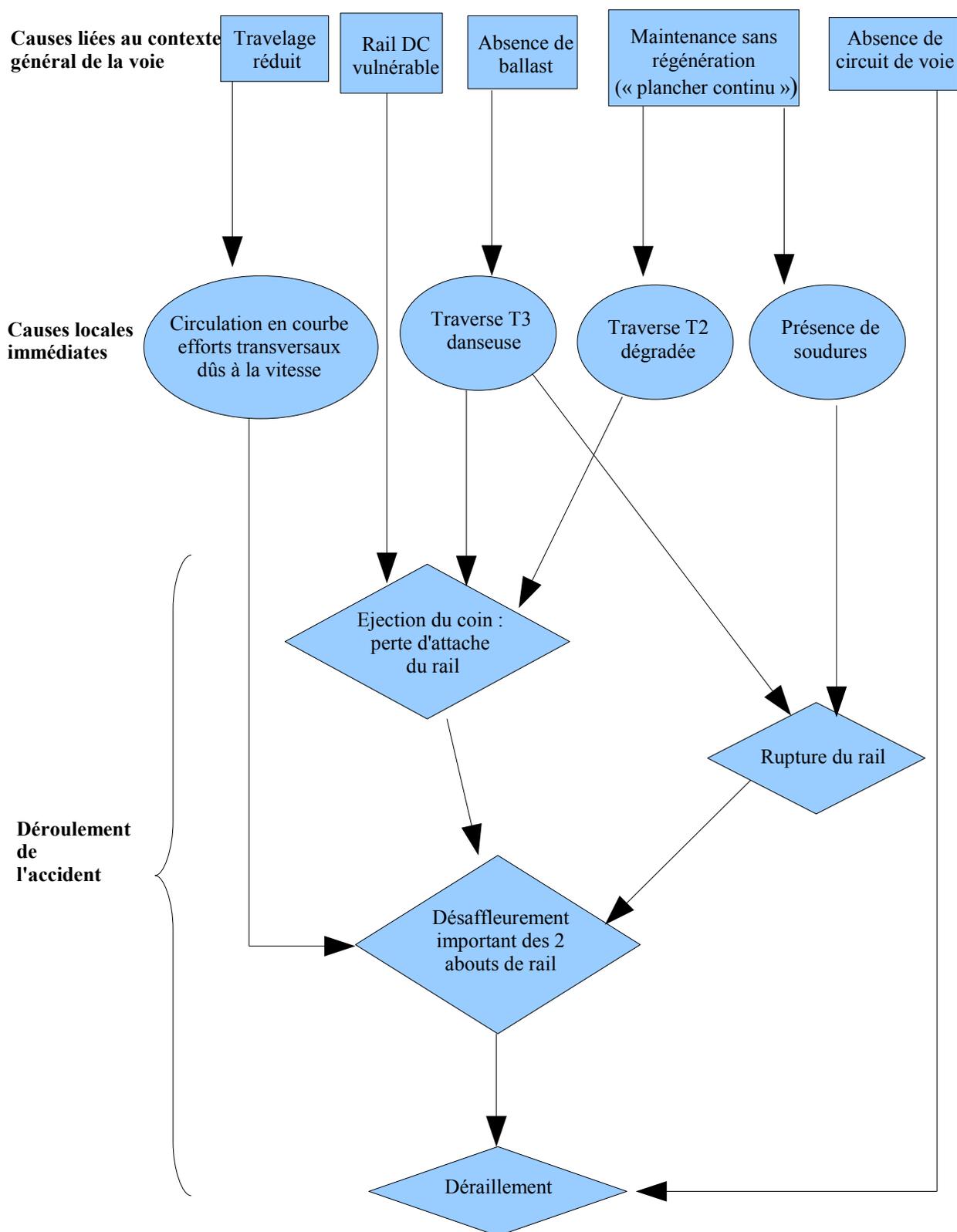
Annexe 8 : Tirefonds soulevés (coussinets pivotants)



Annexe 9 : Le trou du tirefond a été résinifié



Annexe n° 10 : Diagramme causes – conséquences



BEA-TT

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

Tour Pascal B

92055 La Défense

cedex

téléphone :

33 (0) 1 40 81 21 83

télécopie :

33 (0) 1 40 81 21 50

mèl :

Cgpc.Beatt@equipement.gou
v.fr

web :

www.bea-
tt.equipement.gouv.fr