

BEA-TT

Bureau d'Enquêtes
sur les Accidents de
Transport Terrestre

les rapports

Rapport d'enquête technique
sur le déraillement du train de voyageurs 17 417
Briançon – Aix-en-Provence
survenu le 9 novembre 2007 à Pertuis (84)

juin 2008



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

Affaire n°BEATT-2007-015

**Rapport d'enquête technique
sur le déraillement du train de voyageurs 17 417
Briançon – Aix-en-Provence
survenu le 9 novembre 2007 à Pertuis (84)**

Bordereau documentaire

Organisme (s) commanditaire (s) : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire ; MEEDDAT

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 de voyageurs 17 417 Briançon – Aix-en-Provence survenu le 9 novembre 2007 à Pertuis (84)

N°ISRN : EQ-BEATT--8-6--FR

Proposition de mots-clés : transport ferroviaire, rail, soudure, entretien de la voie, formation,

Avertissement

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. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

Sommaire

Glossaire.....	9
Résumé.....	11
1- Engagement de l'enquête.....	13
2- Constats immédiats et engagement de l'enquête.....	15
2.1- Circonstances de l'accident.....	15
2.2- Secours.....	15
2.3- Pertes humaines, personnes blessées, dégâts matériels.....	15
2.3.1- Personnes blessées.....	15
2.3.2- Dégâts matériels.....	15
2.3.3- Conséquences d'exploitation.....	15
2.4- Organisation de l'enquête technique.....	16
3- Elements de contexte.....	17
3.1- La ligne Grenoble / Marseille.....	17
3.2- Le trafic sur la section Aix-en-Provence / Manosque.....	17
3.3- L'infrastructure.....	17
3.4- Maintenance préventive de la voie.....	18
3.5- Principes de maintenance des rails du réseau ferré national.....	19
3.5.1- Politique d'emploi du rail et de la soudure.....	19
3.5.2- Mise en oeuvre de la maintenance des rails.....	19
3.6- Etat des lieux et évolution du « patrimoine rail » du réseau ferré national....	20
3.6.1- Caractéristiques du réseau ferré national (données valables pour 2006).....	20
3.6.2- Production de soudures en voie.....	20
3.6.3- Remplacements de rails en 2006.....	21
3.6.4- Evolution des ruptures de rail et de soudures.....	21
4- Investigations.....	25
4.1- Expertise de la voie.....	25
4.1.1- Expertise des conditions de surveillance et de maintenance de la voie.....	25
4.1.2- Expertise de la géométrie de la voie.....	28
4.1.3- Expertise du rail cassé.....	34
4.1.4- Expertise des traverses rompues.....	35
4.1.5- Evaluation de l'efficacité des attaches.....	36
4.2- Ruptures de rails observées sur la ligne Aix-en-Provence / Briançon.....	36
4.3- Expertise du matériel roulant.....	38
4.4- Signalements des chocs ou mouvements anormaux en ligne par les conducteurs et contrôleurs.....	38
4.4.1- Signalement par les conducteurs dans les jours qui ont précédé le déraillement.....	38

4.4.2- Retour d'expérience relatif aux signalements (rails cassés, chocs anormaux) sur la ligne Marseille / Briançon par les conducteurs depuis 2004.....	40
4.4.3- Signalement par les contrôleurs.....	41
4.5- Analyse des bandes graphiques (engins équipés).....	42
4.6- Parcours de la voie et détection auditive.....	42
4.7- Evènements antérieurs de nature comparable.....	44
4.8- Mesures prises à la suite de l'accident.....	46
4.8.1- Mesures nationales.....	46
4.8.2- Mesures régionales.....	46
4.9- Le simulateur de conduite de la région de Marseille à Miramas.....	46
5- Déroulement de l'accident.....	49
5.1- Le contexte de la voie.....	49
5.2- Scénario probable décrivant les conditions du déraillement.....	49
6- Analyse et recommandations préventives.....	53
6.1- L'état de santé des soudures constituant les LRS.....	53
6.2- Aptitude des conducteurs à détecter certains défauts de voie.....	54
7- Conclusions.....	57
7.1- Identification des causes et facteurs associés ayant concouru à l'accident.....	57
7.2- Rappel des recommandations.....	57
ANNEXES.....	59
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête	61
Annexe 2: Photo du déraillement.....	62
Annexe 3 : Carte ferroviaire.....	63
Annexe 4 : Le rail et ses attaches sur le blochet de la traverse.....	64
Annexe 5 : Photos du rail cassé.....	65
Annexe 5-1 : Rail cassé et sa lacune.....	65
Annexe 5-2 : About maté côté Manosque.....	66
Annexe 6 : Déformation de la voie.....	67
Annexe 6-1 : Traverses détruites de part et d'autre de la cassure.....	67
Annexe 6-2 : Etat de la déformation de la voie.....	68
Annexe 7 : Relevé de la géométrie de la voie après le déraillement.....	69
Annexe 8 : Enregistrement Mauzin du 30 octobre 2007.....	70
Annexe 9 : Analyse de la fracture du rail.....	71
Annexe 10 : Efficacité du serrage des attaches.....	72
Annexe 11 : Profil du champignon du rail.....	74
Annexe 12 : Relevé d'usure du rail.....	75
Annexe 13 : Traverses béton bi-bloc retirées de la voie dans la zone de déraillement.....	77
Annexe 14 : Localisation des ruptures de rail, des signalements par les	

conducteurs et des zones LRS.....	78
Annexe : 15 Programme de maintenance préventive de la voie dans la zone Aix- en-Provence / Manosque.....	79

Glossaire

- **Blochet** : chacun des deux blocs de béton armé réunis par une entretoise métallique pour former un type de traverse dite bi-bloc.
- **Circuit de voie** : circuit électrique dont chaque file de rail fait partie qui permet de détecter la présence d'un train.
- **LRS** : Long Rail Soudé.
- **pk** : point kilométrique.
- **Relevé Mauzin** : la voiture Mauzin enregistre, deux fois par an sur cette ligne, sept paramètres de géométrie de la voie, en continu et les restitue sous forme graphique et sous format informatique.
- **Valeur d'Objectif (V.O.)** : pour un paramètre de la géométrie de la voie, zone des valeurs de ce paramètre à atteindre après remise en état (intervention) de la voie.
- **Valeur d'Alerte (V.A.)** : lorsque le paramètre concerné de la voie se situe dans la zone de valeurs d'alerte, la portion de voie concernée fait l'objet d'une surveillance spéciale.
- **Valeur d'Intervention (V.I.)** : une intervention sur la géométrie de la voie doit avoir lieu dans un délai de trois mois pour ramener la valeur du paramètre concerné en valeur d'objectif.
- **Valeur de Ralentissement (V.R.)** : lorsque le paramètre concerné de la géométrie de la voie se situe en valeur de ralentissement, la vitesse des trains doit être réduite en attendant la remise en état de la voie améliorant la valeur du paramètre concerné.

Résumé

Le vendredi 9 novembre 2007, sur la voie unique Grenoble / Marseille, le train TER 17 417 composé d'une locomotive diesel et de quatre voitures, circule de Briançon à Aix-en-Provence. A 20h11, au point kilométrique 365,848, circulant en courbe de 490 mètres de rayon à la vitesse de 105 km/h, entre les gares de Manosque et Meyrargues, la locomotive déraile de ses quatre essieux au droit d'une rupture du rail extérieur. Les bogies avant des deux premières voitures déraillent aussi, les autres essieux restant en voie.

Les véhicules restent en position verticale et ne se renversent pas en contrebas de la voie ferrée. Aucun blessé n'est à déplorer parmi les voyageurs (environ 150), ni pour le conducteur ou le contrôleur.

La voie est endommagée sur une longueur de 300 mètres par la destruction de 500 traverses béton bi-blocs ; le matériel roulant a subi des dégâts à ses organes de roulement et à ses appareillages sous caisse. Le montant des dégâts à l'infrastructure ferroviaire est supérieur à 300 000 euros. L'exploitation de la ligne a été interrompue pendant trois jours.

La cause directe immédiate est la rupture, non détectée, d'une soudure aluminothermique de rail dans une zone de LRS.

Les facteurs causaux suivants ont joué un rôle dans l'absence de détection de cette rupture :

- cette ligne n'est pas équipée de circuits de voie.
- la détection des fissures sous le patin du rail est quasiment impossible à détecter par les engins d'auscultation des rails par ultrasons.
- la détection d'une rupture de rail par les conducteurs se révèle difficile. Dans le cas présent, plusieurs conducteurs ont circulé sur cette rupture en ne s'apercevant de rien ; le contexte de la voie dans cette zone, par une fréquente alternance des portions de voie en LRS et en barre normales ne donne pas aux conducteurs une référence auditive stable.

Trois recommandations sont formulées par le rapport :

La section de ligne Aix-en-Provence / Manosque ayant enregistré sur deux zones de longs rails soudés plusieurs ruptures de soudures aluminothermiques dans un intervalle de temps réduit (3,5 ans et 4,5 ans), dans un espace réduit (5,4 km et 1,7 km), des investigations complémentaires sont à mener pour dresser la carte de santé des autres soudures sur ces tronçons de LRS, en file haute de rail en courbe.

Le cas des autres lignes du réseau ferré national présentant les mêmes caractéristiques sera examiné sur la base du retour d'expérience des ruptures de rail et fera l'objet d'un bilan de santé des soudures (ligne sans circuit de voie, zone de longs rails soudés sur traverses béton, section en courbe et pour la file haute du rail).

La non détection, par les conducteurs, de la lacune apparue après la rupture de la soudure, est un sujet de préoccupation, car il est probable que plus d'un conducteur a circulé sur cette avarie qui avait une importance notable. Pour améliorer les capacités de détection par les conducteurs de telles avaries, il est souhaitable de tester auprès des conducteurs en entraînement sur les simulateurs de conduite, un catalogue de sons représentatifs de diverses lacunes de voie et pour divers types d'engins moteurs conduits.

1- Engagement de l'enquête

Le vendredi 9 novembre 2007 à 20h11, le train TER 17 417 circulant de Briançon à Aix-en-Provence déraile entre les gares de Manosque et Aix-en-Provence, au pk* 365,848 sur la commune de Pertuis. Le train, constitué d'une locomotive diesel et de quatre voitures, a déraillé de huit essieux du fait d'une rupture du rail en courbe, au droit d'une soudure.

Aucune victime humaine n'est à déplorer.

Le matériel roulant a subi des avaries et la voie est dégradée (traverses brisées) sur environ 300 mètres.

Au vu des circonstances de cet accident, le Directeur du BEA-TT a décidé d'engager une enquête technique réalisée dans le cadre du titre III de la loi 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 (annexe 1).

Il s'agit d'un accident qui, au sens de l'article 20 du décret 2004-85 et de l'article 19.2 de la directive 2004/49 CE, aurait pu, dans des circonstances légèrement différentes, être grave.

* Terme figurant au glossaire

2- Constats immédiats et engagement de l'enquête

2.1- Circonstances de l'accident

Le train TER 17 417, composé d'une locomotive diesel et de quatre voitures circule le vendredi 9 novembre 2007 de Briançon vers Aix-en-Provence sur la voie unique Grenoble / Marseille.

A 20h11, au pk 365,848, circulant en courbe de 490 mètres de rayon à la vitesse de 105 km/h, entre les gares de Manosque - Gréoux-les-Bains et Meyrargues, la locomotive déraile de ses quatre essieux au droit d'une rupture du rail extérieur. Le conducteur a ressenti un choc important, immédiatement suivi du déraillement de sa locomotive qui a continué à rouler à cheval sur la file droite de rail pour s'arrêter au pk 366,1. Les bogies avant des deux premières voitures dérailent, les autres essieux restant en voie.

Le conducteur déclenche le freinage du train et arrête celui-ci sur une distance d'environ 300 mètres.

Grâce à l'épaisseur de la couche de ballast, les véhicules restent en position verticale et ne se renversent pas en contrebas sur le sentier longeant la voie ferrée (photo de l'annexe 2).

2.2- Secours

Dès l'arrêt, le conducteur s'est rendu dans les voitures pour voir s'il y avait des blessés (environ 150 voyageurs se trouvaient à bord de ce train). Tous les voyageurs étaient en bonne santé et aucun ne jugeait nécessaire d'appeler les pompiers. De retour sur sa locomotive, le conducteur a avisé l'agent circulation de Gap de l'évènement (la ligne n'étant pas équipée de la « radio sol train », cette information a été donnée à l'aide du téléphone portable GSM réglementaire dont sont équipés les conducteurs de cette ligne) : celui-ci a pris le relais pour organiser la procédure d'évacuation des voyageurs. Les agents d'astreinte de Gap et de Marseille Blancarde se sont fait préciser par le conducteur la localisation exacte du train déraillé.

Sollicités par la SNCF, les Services de Secours (Codis 84 et Gendarmerie) se sont rendus sur place. Les voyageurs ont été rapidement évacués en gare de Pertuis par les véhicules de l'établissement SNCF de l'Infrastructure. Certains voyageurs ont été pris en charge par leur famille venue les chercher sur place, les autres voyageurs ont été acheminés par deux autocars, l'un directement vers Marseille, l'autre vers Aix-en-Provence. Les services de secours, ainsi que les agents SNCF d'astreinte ont procédé aux premières constatations.

2.3- Pertes humaines, personnes blessées, dégâts matériels

2.3.1- Personnes blessées

Aucun blessé n'est heureusement à déplorer, tant pour les voyageurs que pour les agents SNCF.

2.3.2- Dégâts matériels

La voie est endommagée sur une longueur de 300 mètres par la destruction de 500 traverses bi-blocs (ruptures ou déformation des entretoises, blochets* en béton écrasés ou détruits). Le coût de la réparation provisoire et de la remise en état définitive sera probablement supérieur à 300 000 €.

Le matériel roulant (locomotive BB 567584 et quatre voitures) a subi des dégâts à son infrastructure (bogies, essieux, coffres et tuyauterie sous caisse).

2.3.3- Conséquences d'exploitation

* Terme figurant au glossaire

La circulation des trains sur la ligne a été interrompue du vendredi 9 novembre au soir (ligne à voie unique) jusqu'au lundi 12 novembre 2007, à 21h30. Six trains ont été totalement supprimés, cinq trains ont été partiellement supprimés, les trains impliqués ayant subis au total 191 minutes de retard.

2.4- Organisation de l'enquête technique

L'enquêteur technique a examiné les coupons de rails concernés par la rupture au laboratoire des rails de Saint-Ouen (Centre d'expertises et d'Essais de Saint-Ouen) et a pu circuler à pied sur la voie après réfection provisoire. Afin d'évaluer les conditions de détection d'un rail cassé, il a circulé à bord des trains en cabine d'engin moteur (ressenti physique de la voie), et s'est rendu au simulateur de conduite des trains à Miramas.

L'enquêteur a eu de nombreux contacts avec les responsables SNCF de la maintenance voie, sur le terrain et en direction centrale ; il a eu accès aux divers documents de référence de la SNCF.

3- Elements de contexte

3.1- La ligne Grenoble / Marseille

La ligne Grenoble / Marseille, répertoriée sous le numéro 905 000 des lignes du Réseau ferré national, est une ligne à voie unique. A Veynes s'embranche la ligne (à voie unique) en direction de Briançon et à Pertuis s'embranche la ligne (à voie unique) en direction d'Avignon (cf annexe 3).

Le volume du trafic classe cette ligne dans le groupe 6 UIC (classement de 1 à 9 par ordre d'importance décroissante du trafic).

3.2- Le trafic sur la section Aix-en-Provence / Manosque

Pour la journée du 9 novembre 2007, le trafic est repris dans le tableau suivant :

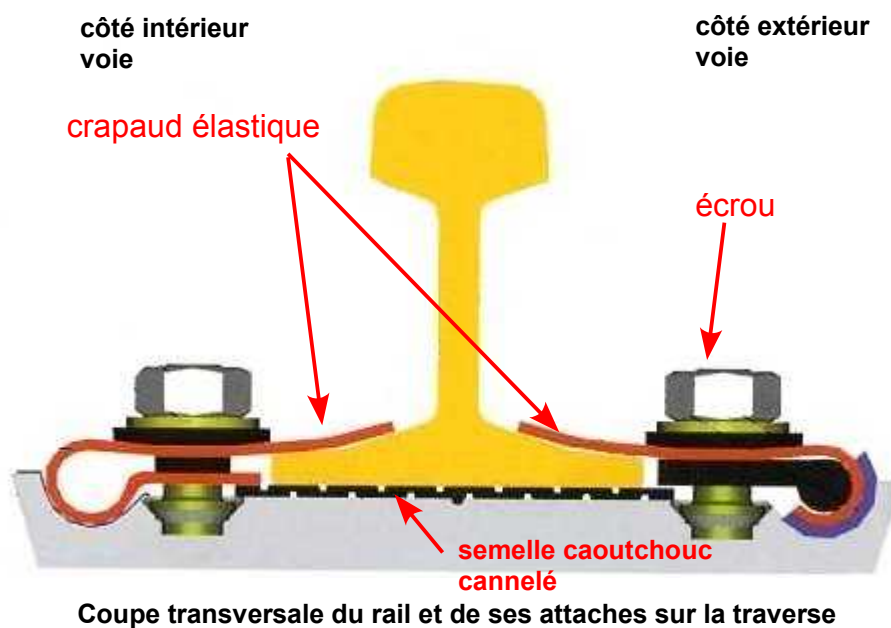
<i>Nature du train</i>	<i>origine/destination</i>		<i>origine/destination</i>
Marchandise « MA 100 »	Avignon	↔	Laragne
TER locomotive + voitures	Gap	→	Aix-en-Provence
TER X.TER ou AGC	Marseille	↔	Briançon
TER AGC	Marseille	↔	Briançon
TER locomotive + voitures	Aix-en-Provence	↔	Briançon

On dénombre ainsi pour ce jour-là neuf circulations ferroviaires sur la voie unique.

3.3- L'infrastructure.

A l'endroit du déraillement au pk 365,848, la ligne longe le cours de la Durance et la voie est en courbe à gauche de rayon 490 mètres, avec un dévers de 125 mm. La vitesse de la ligne pour les trains de voyageurs à cet endroit est de 105 km/h, ce qui correspond pour les trains de voyageurs à une insuffisance de dévers de 140 mm (pour les trains de fret des catégories MA 80, MA 90, MA 100, ME 100, la vitesse limite est de 60 km/h).

Pour la zone considérée, la voie est moderne : elle est constituée de longs rails soudés (LRS) posés sur un plancher de traverses en béton bi-bloc « VAX U 20 ». La densité du travelage est de 1 666 traverses au kilomètre.



La photo de l'annexe 4 montre le rail et ses fixations sur le blochet sur la zone en amont du déraillement. Conformément au référentiel et compte tenu du rayon de la courbe, les attaches intérieures sont munies de crapauds C 165 avec lame inférieure formant butée transversale ; les attaches extérieures sont munies de crapauds C 127 sans lame inférieure avec butée nylon C 200.

Le rail est de type U 33, de réemploi, de masse linéique 46 kg/m. Sa fabrication remonte à janvier 1955, en acier « Thomas », par l'usine Wendel-Sidélor. Le rail a été posé sur cette voie en 1986 lors des travaux de régénération.

La couche de ballast est constituée de pierres concassées 25/50.

3.4- Maintenance préventive de la voie

Le tableau de l'annexe 15 résume les grosses opérations de maintenance effectuées dans un passé récent et à venir, dans la zone considérée (du pk 359 au pk 380).

Ce tableau montre que dans la zone en LRS* autour du pk 365,848, la seule opération de maintenance préventive programmée est « la vérification du serrage des attaches », à réaliser en 2002 puis en 2012.

Par ailleurs, les expertises de l'état de la voie ont mis en évidence l'usure du rail dans certaines courbes, en file haute. Dans les préparations budgétaires des années 2006 et 2007, il a été décidé de financer le remplacement du rail file haute de la voie en courbe du pk 365,618 au pk 366,118 pour motif d'usure latérale du champignon. Vis-à-vis du référentiel de maintenance, sur les 500 mètres de rail dont le remplacement était prévu, la courbe présentait 320 m en valeur d'alerte* et 20 m en valeur d'intervention*.

La rupture de soudure au pk 365,848 s'est produite dans la zone devant être renouvelée quelques mois plus tard ; il faut rappeler que la décision de remplacement de ce rail n'a pas été liée au risque de rupture d'une soudure, mais uniquement à l'usure du champignon.

* Terme figurant au glossaire

3.5- Principes de maintenance des rails du réseau ferré national

3.5.1- Politique d'emploi du rail et de la soudure

Le coût d'acquisition des rails représentant une charge d'investissement importante, la maintenance a pour objectif de rechercher une grande durée d'utilisation du rail, en maintenant le niveau de sécurité des circulations ferroviaires.

Pour un tronçon de ligne donné, l'objectif de bonne durée d'utilisation n'est accessible que si le vieillissement du rail est uniforme, ce qui requiert pour le tronçon considéré une homogénéité des rails et des soudures en voie de façon que le facteur principal de vieillissement résulte de la fatigue mécanique engendrée par le trafic.

Lorsque le coût annuel de maintenance des rails devient excessif en raison du nombre élevé de réparations ou de remplacements élémentaires de rail, il peut être envisagé de procéder à un renouvellement des rails.

Plusieurs critères sont à examiner pour le choix du renouvellement des rails :

- présence de circuits* de voie susceptibles de détecter les ruptures de rail sur les deux files,
- nombre de défauts détectés dans le rail et nombre de retraits,
- âge et procédé de fabrication du rail,
- usure et état de surface du rail,
- nombre et âge moyen des soudures,
- nombre de coupons,
- nombre d'interventions,
- tonnage supporté et prévisions d'évolution du trafic.

3.5.2- Mise en oeuvre de la maintenance des rails

L'objectif est d'éviter une défaillance de la voie à cause du rail.

Organisation de la maintenance des rails

- surveillance des rails,
- mesure et suivi de l'évolution des défauts,
- intervention.

Surveillance des rails

Cette surveillance consiste à découvrir les défauts au cours d'examens visuels et ultrasonore en utilisant un appareillage adapté.

Mesures et suivi d'évolution des défauts

Les défauts détectés en voie doivent faire l'objet d'une mesure, d'un suivi et d'une traçabilité. La périodicité de ce suivi dépend de la nature du défaut détecté, du trafic supporté par le rail et de sa situation (appareil de voie, appareil de dilatation, abouts, voie courante).

Intervention

La nature de l'intervention résulte de l'application des procédures fixant les seuils d'intervention pour les défauts de rail, des critères de réparabilité (meulage, rechargement...), des critères d'acceptation vis-à-vis de l'environnement du rail.

Causes affectant l'état du rail

- ruptures de rails,
- ruptures de soudure,
- fissures,
- avaries : certains défauts ne conduisent pas à la rupture du rail car ils sont « non fissurants ». Lorsque ces défauts nuisent au maintien de la qualité de la géométrie de la voie et qu'ils génèrent des interventions fréquentes de maintenance, ils doivent être réparés ou éliminés,
- usures,
- corrosion.

3.6- Etat des lieux et évolution du « patrimoine rail » du réseau ferré national

Pour situer l'évènement survenu à Pertuis le 9 novembre 2007 dans le contexte d'ensemble du réseau ferré national (RFN), ce paragraphe expose quelques éléments d'information extraits du rapport annuel SNCF 2006 relatif à l'état du patrimoine « rail » du RFN.

3.6.1- Caractéristiques du réseau ferré national (données valables pour 2006)

Les données en longueur de voie et en profils de rail se résument suivant le tableau :

<i>Longueur (km)</i>		<i>Profil des rails de voie principale (VP)</i>	
VP non compris LGV	45 988	60 kg/m	15 006 km
VP y compris LGV	49 000	50 kg/m	17 808 km
VP en LRS, y compris LGV	35 200 (72%)	autres	15 857 km

Glossaire : VP = voie principale ; LRS = long rail soudé ; LGV = ligne à grande vitesse.

L'équipement des diverses régions SNCF n'est pas homogène; on peut noter les dispersions suivantes entre les valeurs moyennes pour les 23 régions :

- âge des rails : (min = 23,9 ans ; max = 42,6 ans) moyenne = 32,4 ans.
- masse linéique moyenne (kg) : (min = 48,5 ; max = 56,9) moyenne = 52,5 kg.
- vitesse de circulation : (min = 103 km/h ; max = 179 km/h) moyenne = 125 km/h.
- groupe UIC : (min = 4 ; max = 7) moyenne = 5,5
- pourcentage de LRS : (min = 48% ; max = 88%) moyenne = 71,9%
- pourcentage de rail double champignon : (min = 0% ; max = 23,6%) moyenne = 5,7%

3.6.2- Production de soudures en voie

En 2006, 60 000 soudures aluminothermiques en voie ont été réalisées, environ la moitié par des soudeurs SNCF, l'autre moitié étant réalisée par les entreprises de travaux de voies ferrées.

46 840 réparations par rechargement de métal par soudage à l'arc (relativement aux coeurs d'aiguille et rails) ont été réalisées.

3.6.3- Remplacements de rails en 2006

La longueur de rails remplacés par type de chantier figure dans le tableau ci-dessous :

<i>Nature d'opération</i>	<i>Année 2006</i>
RVB	212 km de voie (424 km de rails)
autres remplacements de rails en opérations importantes : RRR, RRN, RR+RT+relevage, RR+RB,...	217 km de voie (434 km de rails)
remplacement en maintenance	156 km de rails
Linéaire total de rails remplacés (neuf ou réemploi)	1 014 km de rails
rappel du linéaire total de rails VP	98 180 km

Glossaire : RVB = renouvellement voie et ballast ; RRR = remplacement de rail par du rail de réemploi ; RRN = remplacement de rail par du rail neuf ; RR + RT = remplacement rail et traverses ; RB = remplacement de ballast ; relevage = complément de ballast.

Le remplacement des rails se fait soit par des rails neufs achetés, soit par des rails de réemploi. La quantité de rails neufs se détaille de la façon suivante:

<i>profil</i>	<i>2006 (tonnes achetées)</i>
UIC 60 (dont LGV-Est)	48 809
U 50	46 603
Autres profils	4 889
total	100 301

Le tonnage des rails commandés pour la maintenance du réseau (hors construction de la LGV-Est-européenne) représente 1 500 km, soit seulement 1,5% du patrimoine rails du réseau.

3.6.4- Evolution des ruptures de rail et de soudures

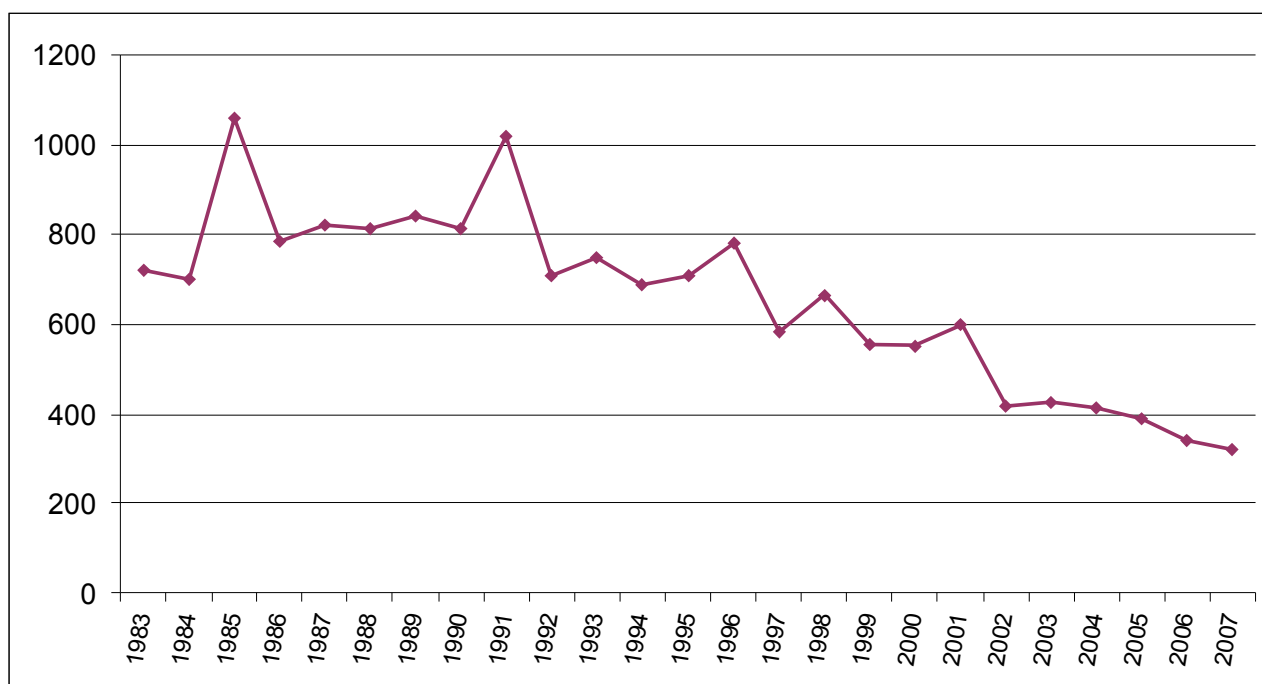
Le tableau ci-dessous liste le nombre de ruptures de rails en pleine barre et au niveau des soudures depuis 25 ans.

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
(1)	500	500	750	560	590	590	610	595	630	410	400	370	390	430	385	405	360	360	410	220	240	230	220	206	218
(2)	220	200	310	226	230	225	230	220	390	300	305	320	320	350	200	215	195	190	190	198	185	185	170	137	105
(3)	720	700	1060	786	820	815	840	815	1020	710	750	690	710	780	585	665	555	550	600	418	425	415	390	343	323

(1) nombre de ruptures en pleine barre

(2) nombre de ruptures de soudure

(3) nombre total de ruptures



Evolution du nombre de ruptures de rail sur les 25 dernières années

La répartition des ruptures de rail (y compris soudures) entre « lignes classiques » et « lignes à grande vitesse » ainsi que le taux de rupture aux 100 km est la suivante, en moyenne sur les deux années 2004 et 2005 :

	<i>Nombre de ruptures</i>	<i>Nombre de ruptures aux 100 km</i>
LGV	10	0,32
lignes classiques	333	0,73
total	343	

La répartition des ruptures de rail (y compris soudures) pour l'année 2006 sur les lignes possédant ou non des circuits de voie est la suivante :

<i>Mode de cantonnement</i>	<i>Nombre de ruptures</i>	<i>pourcentage</i>
zones détectant les ruptures	327	78%
zones ne détectant pas les ruptures	92	22%
total	419	100%

On observe une tendance générale à la baisse du nombre de ruptures de rails, y compris des soudures grâce à l'amélioration des produits, l'amélioration des procédés de soudage, aux effets bénéfiques de la maintenance préventive conditionnelle.

Cas des soudures aluminothermiques : pour l'année 2006, sur les 343 ruptures de rail

constatées, 137 résultaient de soudures aluminothermiques (40%).

Conclusions d'ensemble vis-à-vis du patrimoine rail :

Les interventions de maintenance sur les rails ont pour origine, soit une rupture, soit un défaut interne (détectable ou non par les engins à ultrasons) ou externe. Actuellement, avec l'augmentation du nombre d'engins moteurs modernes puissants, dotés de systèmes d'anti-patinage, les défaut de surface du rail deviennent prépondérants (lorsqu'il y a patinage, la roue marque son empreinte sur le champignon du rail; lorsqu'il n'y a pas de patinage, la répétition des efforts de rotation des roues motrices au point de contact rail-roue engendre une fatigue du métal en surface du champignon). Un des remèdes consiste à développer le meulage préventif des rails.

Les défauts du rail, dans la plupart des cas, nécessitent d'être éradiqués par ablation de la partie de rail concernée, ce qui occasionne une à deux soudures supplémentaires en voie. Le nombre de soudures en voie du patrimoine rail augmente, de ce fait, constamment.

Les remplacements de rail, tous chantiers confondus, représentent 1,5% de l'ensemble des rails du réseau ferré national. Ce taux est l'un des plus faibles d'Europe. **Au rythme actuel, l'âge moyen de ce patrimoine « rail » va s'élever progressivement de 32,5 ans jusqu'à 66 ans.**

Compte tenu de ces durées de vie importantes à assumer, les bases de données de retour d'expérience doivent se perfectionner ; l'amélioration constante observée depuis vingt ans en ce qui concerne la fréquence de rupture des rails ne peut se poursuivre, en présence d'un patrimoine de rails qui continuera de vieillir, que si l'efficacité de la maintenance progresse.

4- Investigations

4.1- Expertise de la voie

Il est apparu que la rupture du rail positionné en file externe de la courbe est la cause initiale du déraillement, la lacune entre les deux abouts de rail et la dégradation ponctuelle de la géométrie de la voie ayant créé une discontinuité du guidage de la roue extérieure. La cause qui a finalement fait « échapper » la première roue de locomotive hors du rail est le défaut de géométrie.

4.1.1- Expertise des conditions de surveillance et de maintenance de la voie

*Relevé géométrique de la voie selon relevé Mauzin** : le dernier relevé a été effectué par passage de la voiture Mauzin le 30 octobre 2007, soit huit jours avant l'accident (annexe 8). Le seul élément notable est la mise en évidence d'une amorce de défaut de dressage, associé à un défaut d'écartement ponctuel de 4 mm environ, bien en deçà des seuils d'alerte sur cette ligne. Le fichier « STS » associé à cet enregistrement (fichier numérique transmis à bref délai à l'établissement pour qu'il puisse intervenir rapidement si nécessaire) ne signale la zone en valeur d'alerte pour aucun paramètre. Les précédents enregistrements Mauzin ne présentaient aucune anomalie sur cette zone.

Tournée à pied : la dernière tournée de surveillance périodique à pied a été réalisée le 8 octobre 2007 :

<i>Localisation (pk)</i>	<i>observation</i>
361,350	arrachement de métal au joint (file gauche)
363,200 / 363,400	rail à ramasser
363,970	caniveau à nettoyer
364,820	traverse à remplacer
364,970	rail à ramasser
366,400 – 366,800	rail chanfreiné
366,600 – 366,800	ballastage

Aucun défaut n'a été signalé dans la zone du pk 365,848. Sur ce tronçon de ligne, le planning annuel des tournées à pied prévoit un passage toutes les 6 semaines (le référentiel prévoit une périodicité de principe de 9 semaines).

Tournée en cabine de conduite d'engin moteur : la dernière tournée de surveillance en cabine de conduite a été effectuée le 19 septembre 2007, l'engin moteur étant l'automoteur XTER :

<i>Localisation (pk)</i>	<i>observation</i>
408,000	ramassage rail et traverse
401,850	tunnel des Figons : léger dressage entrée tunnel (+)
398,000	TM dressage (+)

* Terme figurant au glossaire

<i>Localisation (pk)</i>	<i>observation</i>
394,700	nivellement (++)
383,900	dressage (+)
363,200	ramasser rails
359,	appareils de voies de Meyrargues : nivellement et dressage (+).
352,050	PN 96 (++)
urgence	(+) = surveiller évolution (++) = défaut à vérifier (+++)= défaut à traiter.

Il n'a pas été décelé de défaut dans la zone du pk 365,848.

Auscultation des rails par ultrasons : le précédent passage de l'engin d'auscultation des rails par ultrasons a eu lieu le 25 mai 2004, l'objectif étant de détecter d'éventuels défauts internes du rail. Sur cette ligne, la fréquence d'auscultation des rails est de 4 ans. L'examen US du 25 mai 2004 n'a pas détecté de défaut interne du rail à l'endroit de l'accident.

Maintenance préventive de la voie : cette maintenance est réalisée selon un plan pluriannuel (cf paragraphe 3.4). Ce plan expose le type d'expertise à réaliser l'année n pour remise en état l'année suivante. Sur la zone de l'incident, les facteurs concernés sont la géométrie de la voie et le serrage des attaches.

La géométrie a été corrigée par une opération de bourrage de la voie réalisée le 23 septembre 2006. La dernière opération de vérification du serrage des attaches aurait dû être réalisée en 2002, l'opération suivante devant se réaliser dix ans plus tard en 2012.

Les relevés de la vérification effectuée en 2002 n'ayant pu être retrouvés, ce qui laisse un doute sur sa réalisation, une opération de prospection immédiate a été lancée après le déraillement sur le serrage et tenue des attaches : le résultat global, pour l'ensemble de la courbe, conduit à des valeurs enregistrées se situant en valeurs d'alerte et en valeurs d'intervention. Ce résultat n'indique pas l'existence d'une anomalie particulière de la voie ; toutefois, le niveau de serrage insuffisant peut avoir favorisé la vitesse d'ouverture de la lacune entre les deux abouts de la rupture de rail. En outre, le rail a pu se libérer de son axe médian, suivre un « cheminement linéique » et offrir ainsi une lacune de plus de 40 mm au droit de la rupture.

Veille de l'Etablissement Equipement : l'établissement assure une veille technique depuis plusieurs années sur les sujets suivants :

- tournées de surveillance des équipes voies,
- suivi des rails et conditions de remplacement,
- surveillance et retour aux valeurs définies par les normes pour la géométrie de la voie,
- système rail-attaches-traverses.

Un audit régional réalisé en 2003 a relevé l'absence de prospection sur les attaches élastiques (crapauds RN) des zones équipées de longs rails soudés, tandis que le dirigeant de proximité de l'époque indiquait que les mesures réalisées affichaient systématiquement des résultats toujours en valeur d'objectifs (VO).

Veille de l'Etablissement Traction : cet établissement est systématiquement informé des ruptures de rail survenues dans sa zone d'action considérée, pour croiser ces informations avec celles issues des bulletins de service. Les chocs anormaux constituent des procédures rares suivies annuellement et font l'objet de sensibilisations périodiques, en particulier sur la ligne Aix-en-Provence / Briançon non munie de circuits de voie. Le ressenti des chocs anormaux reste subjectif par rapport au comportement de l'engin et à l'état de la voie.

Veille de l'Etablissement Commercial Train (ECT, établissement gérant les contrôleurs à bord des trains de voyageurs) : la survenue de chocs anormaux ressentis par les contrôleurs est prise en compte dans le système de veille de l'établissement ; pour cette activité, la détection d'événements liés à l'état de la voie est très subjectif.

Veille par les spécialistes régionaux : les ruptures de rails sont suivies mensuellement en utilisant les bases de données relatives à la circulation des trains et leur régularité (base « BREHAT ») ou la base de donnée technique « Rex VA ». Les causes et les criticités sont évaluées, tout particulièrement pour les lignes sans circuits de voie pour la signalisation. En ce qui concerne les ruptures de rail (ruptures en pleine barre), 28 ruptures de rail ont été dénombrées en 2005 et 10 en 2006. Entre 2005 et 2006, le nombre de ruptures de soudures a été divisé par 2 et sur les 9 premiers mois de 2007, 13 ont été dénombrées comme en 2006 pour la même période. Cette amélioration peut être attribuée à l'amélioration de la qualité de la réalisation des soudures depuis plusieurs années.

On peut estimer au niveau de la veille régionale qu'il n'y a pas eu d'évolution anormale des taux de signalements de chocs anormaux au cours de ces dernières années. Néanmoins, ce sujet reste très subjectif et se trouve conditionné par l'expérience du conducteur, sa connaissance de ligne et la nature de l'engin qu'il conduit.

Constats relatifs aux circulations précédant le déraillement.

Les deux bouts du rail cassé ont été matés, témoignant du passage de véhicules ferroviaires précédemment au déraillement du train 17 417.

Une enquête des services régionaux de la SNCF a été diligentée vis-à-vis des trains précédant le train 17 417, ayant circulé le jour même (vendredi 9 novembre 2007). Il s'agit des trains 85 540, 17 409, 17 400, 17 411, 90 619, 17 402, 17 413, 17 404. Les investigations ont porté sur :

- les signalements d'un choc anormal par les conducteurs,
- l'analyse des bandes graphiques (dans le cas d'un enregistreur à bande déroulante et stylet encreur, le stylet pouvant subir un soubresaut en cas de choc en voie),
- l'état des tables de roulement des essieux.

Un complément d'information peut être apporté par l'analyse des événements enregistrés par les postes de Manosque et de Meyrargues. Aucun signalement de choc ou mouvement anormal ne leur est parvenu : les derniers événements traités concernant un arbre sur la voie (pk 347,700), des divagations de personnes avec risque d'actes de malveillance (pk 360,600), deux incendies (pk 349,000 et 347,000), le déclenchement des filets anti-rochers de Mirabeau.

A ce stade des investigations, il n'est pas permis de déterminer le moment de la rupture et si cette rupture était détectable avant le déraillement.

4.1.2- Expertise de la géométrie de la voie

Expertise initiale :

Après l'accident, le relevé de géométrie de la voie fait apparaître un gauche G3 (sur 3 mètres) atteignant 39 mm (voir les relevés de l'annexe 7). En comparaison de la géométrie relevée lors du dernier passage Mauzin du 30 octobre 2007 (annexe 8), le gauche G3 dans la zone du pk 365,868 s'est donc dégradé de façon accélérée. Ce gauche anormalement élevé s'explique par la destruction visible des blochets béton 20 et 21 après apparition d'un phénomène de danse des traverses, provoquant un affaissement localisé du rail sous l'effet de la charge des roues ferroviaires circulant dessus. A titre de référence, pour ce type de ligne, le gauche G3 maximum au delà duquel les circulations ferroviaires sont arrêtées est de 24 mm.

La destruction du béton des blochets fait apparaître l'armature métallique. L'assise du patin du rail a laissé place à un vide de plusieurs centimètres ; les goujons-tirefonds auxquels s'accrochent les crapauds élastiques ont été libérés par la désagrégation du béton : en conséquence, le maintien du patin du rail au droit des deux abouts (séparés par la cassure du rail) a disparu, permettant aux abouts de fléchir en fonction de la charge de roue circulant à cet endroit. Cette perte de fixation des deux abouts de rail s'est traduit à la fois par un non maintien en déplacement vertical (gauche) comme en déplacement transversal (surécartement local).

Le profil du rail dans cette courbe est usé et présente une forme chanfreinée classant ce profil en valeur d'alerte (VA).

L'état de graissage du rail est jugé satisfaisant, en particulier sur la pente du chanfrein du rail.

Lacune présentée par le rail : une lacune de 70 mm été mesurée après le déraillement ; cet intervalle important peut se décomposer selon :

- une « lacune naturelle » de 40 mm due aux variations de température (+ 25°C au moment de la soudure du rail à comparer à la température de +5°C à 20h11 le 9 novembre).
- une rétractation supplémentaire du rail due aux déformations de dressage subies par le rail (annexe 6.2) à cause des efforts centrifuges exercés par les véhicules ; les écarts de dressage atteignent des valeurs de plusieurs décimètres vers l'extérieur de la courbe. Même si une partie de cet écart de dressage résulte du déraillement lui même, on peut penser qu'une partie de cet écart était déjà acquise avant ce déraillement et a donc contribué à élargir la lacune.

Expertise complémentaire :

Plusieurs paramètres sont pris en compte par les référentiels pour déterminer la conformité de la voie. Pour chaque paramètre, quatre plages de valeurs sont définies :

V.O. valeur d'objectif : zone des valeurs à atteindre après remise en état (intervention) du paramètre concerné.

V.A. valeur d'alerte : zone nécessitant une surveillance spéciale.

V.I. valeur d'intervention : une intervention sur le paramètre concerné de la voie doit avoir lieu dans un délai de trois mois.

V.R. valeur de ralentissement : dans le cas présent, la vitesse des trains de voyageurs doit être réduite selon un taux défini par le référentiel en attendant l'intervention de remise à niveau du paramètre dans la plage des valeurs d'objectif.

Pour certains paramètres, les plages des valeurs VO et VA sont disjointes. Lorsque le paramètre se situe entre VO et VA, aucune action correctrice n'est nécessaire ; lorsque le paramètre est dans la plage VA, la correction qui sera apportée devra se situer dans la plage VO, afin de

redonner un bon potentiel d'évolution à ce paramètre de voie.

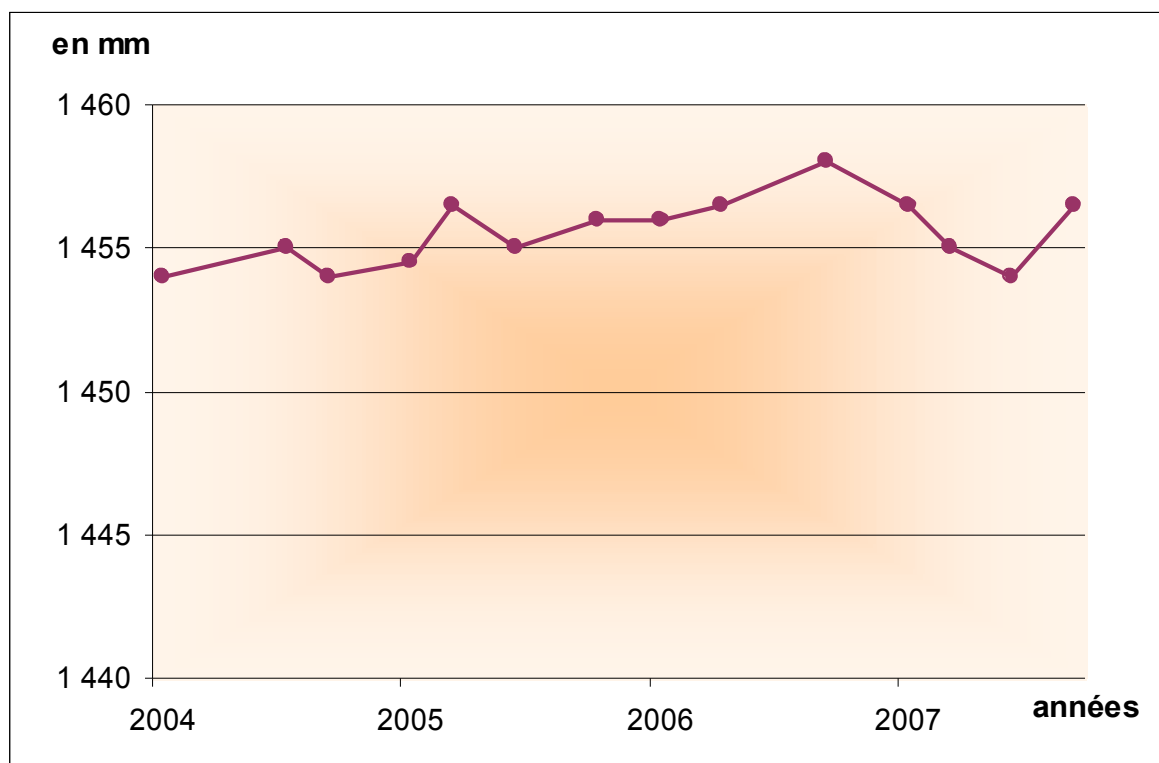
Ecartement de la voie

Les normes du référentiel IN 1895 (article 4.1, tableau 3 page 8 et graphique 2 page 7) se schématisent de la façon suivante (extrait simplifié) :

<i>Niveau de qualité</i>	<i>E.min (mm)</i>	<i>E.moyen(mm)</i>	<i>E.max (mm)</i>
V.O. hors pose neuve	$\geq 1\,432$	$1\,434 \leq E.moy \leq 1\,445$	$\leq 1\,446$
V.A.	$1\,428 \leq E.min < 1\,430$	non contrôlé	$1\,455 < E.max \leq 1\,462$
V.I.	$< a^*$	non contrôlé	$> b^*$
V.R. 40 km/h	$\leq c^*$	-----	$\geq d^*$
valeur d'arrêt	$\leq e^*$	-----	$\geq f^*$

L'écartement minimum dans la courbe (1 452 mm) est largement supérieur à l'écartement minimum prescrit par la norme (VO : E.min > 1 433 mm).

L'écartement maximum (1 455 mm à 1 460 mm) est en valeur d'alerte (1 455 mm à 1 462 mm) sur l'ensemble de la courbe sauf sur 24 mètres environ (1 452 mm) avant la soudure rompue, dans le sens de la circulation. Cet écartement maximum évolue lentement selon le graphique ci-dessous :



Evolution de l'écartement maximum de la voie dans la zone de la courbe du pk 365

* valeurs chiffrées appartenant au référentiel interne du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué.

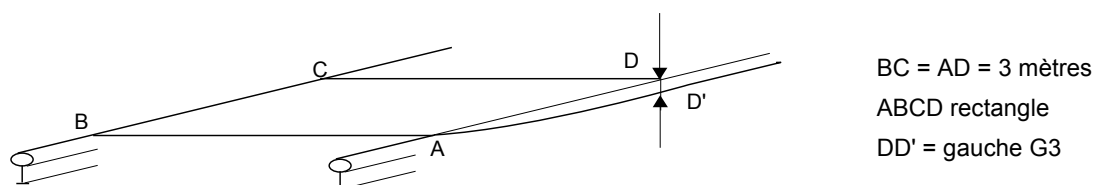
Le principal facteur d'évolution de cet écartement maximum est l'usure latérale des rails de grand rayon. Il est à noter qu'un renouvellement des rails de grand rayon était prévu en 2008.

Pour ce paramètre « écartement maximum », bien qu'il soit dans la zone de valeur d'alerte, rien ne justifie une intervention spécifique autre que la surveillance de son évolution en attendant que le rail soit renouvelé.

Le graphique ci-dessus montre une évolution en ligne brisée qui peut s'expliquer par le fait que le rail, en tant que rail de réemploi, provient de raccords de rails élémentaires, d'usures latérales différentes lors de la soudure en atelier des rails de réemploi.

Gauche sur la base de 3 mètres

La longueur de trois mètres est choisie pour correspondre à l'empattement de 3 m des bogies de plus grand empattement ; les normes du référentiel IN 2640 se schématisent de la façon suivante :



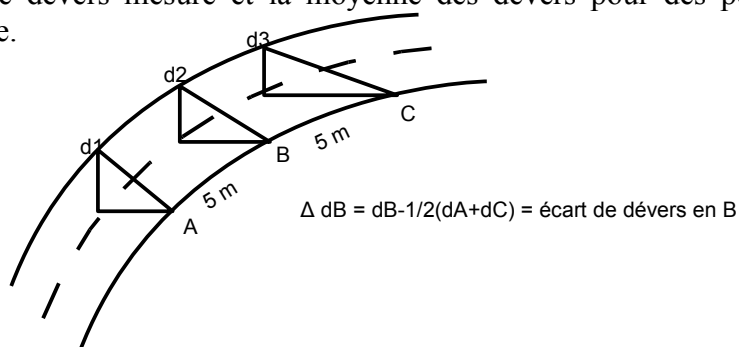
Niveau de qualité	Vitesse max. voie (km/h)	Gauche sur base 3 m.(mm)
V.O. hors pose neuve	$100 < V \leq 160$	≤ 3
V.A.	$100 < V \leq 160$	$a^* < G3 \leq b^*$
V.I.	$100 < V \leq 160$	$c^* < G3 \leq d^*$
V.R. 100	$V > 100$	$e^* < G3 \leq f^*$
arrêt	-----	$G3 > g^*$

Dans la zone du déraillement, le gauche G3 est inférieur à 3 mm, ce qui le positionne en valeur d'objectif **V.O.**

Quelques points à proximité de la courbe se situent dans la plage (3 mm, 6 mm), hors des valeurs d'objectif mais sans atteindre la valeur d'alerte **V.A.** = 7 mm.

Ecart de dévers

Le dévers en un point est la différence de cote verticale entre les deux rails. L'écart de dévers est la différence entre le dévers mesuré et la moyenne des dévers pour des points éloignés de 5 mètres de part et d'autre.



* Valeurs chiffrées appartenant au référentiel interne du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué

Les normes du référentiel IN 2640 se schématisent de la façon suivante :

<i>Niveau de qualité</i>	<i>Vitesse max de la voie (km/h)</i>	<i>Écart de dévers (Ed) (mm)</i>
V.O. hors pose neuve	$100 < V \leq 160$	≤ 5
V.A.	$100 < V \leq 160$	$a^* < Ed \leq b^*$
V.I.	$100 < V \leq 160$	$c^* < Ed \leq d^*$
V.R.100	$100 < V \leq 160$	-----
valeur d'arrêt	-----	$Ed > e^*$

Dans la zone du déraillement, l'écart de dévers n'excédant pas 5mm est constamment en valeur d'objectif **V.O.**.

Différence entre dévers réel et dévers prescrit

Les normes du référentiel IN 2640 se schématisent de la façon suivante (dA = dévers au point A ; dp = dévers prescrit) :

<i>Niveau de qualité</i>	<i>Vitesse max de la voie</i>	<i>Différence de dévers (dp-dA)</i>
V.O. hors pose neuve	$100 < V \leq 160$	$(dp - dA) < 3$
V.A.	$100 < V \leq 160$	$10 < (dp - dA) \leq 15$
V.I.	$100 < V \leq 160$	$(dp - dA) > f^*$
V.R. 100	$100 < V \leq 160$	non contrôlé
valeur d'arrêt	-----	non contrôlé

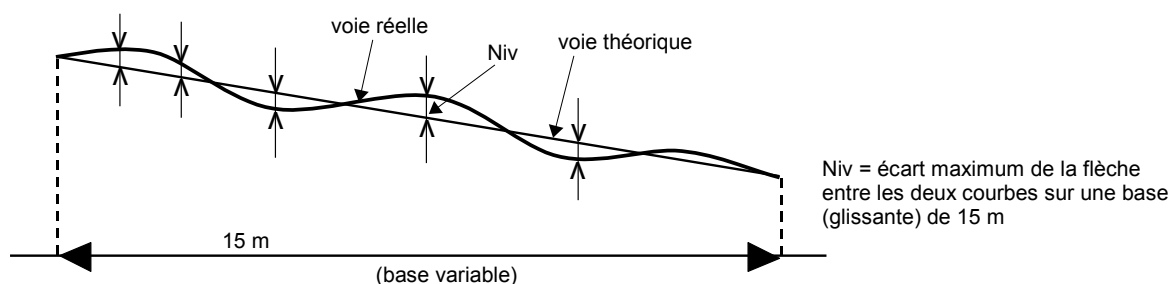
Dans la zone du déraillement, le dévers prescrit est de 125 mm. Les dévers relevés en charge à 10 mètres de part et d'autre de la soudure rompue et hors zone dégradée par les chocs sur la rupture varient de 114 à 120 mm, soit une valeur maximale $(dp - dA) = 11$ mm, correspondant à la limite inférieure de la valeur d'alerte.

Hors des six traverses concernées par la rupture (trois de part et d'autre), il n'existe pas de défaut transversal significatif sur la zone.

Nivellement longitudinal

C'est un défaut de géométrie, situé dans le plan vertical, représenté par l'écart (Niv, en millimètres) d'un point du dessus du rail, au niveau du plan de roulement, par rapport à la ligne moyenne idéale du profil en long.

* Valeurs chiffrées appartenant au référentiel interne du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué



Les normes du référentiel (IN 1895) se schématisent de la façon suivante :

<i>Niveau de qualité</i>	<i>Paramètres caractéristiques et actions à entreprendre</i>	<i>Vitesse max autorisée (km/h)</i>	<i>Seuils du paramètre Niv défaut isolé (mm)</i>
V.O.	hors pose neuve	$V \leq 130$	$Niv \leq 5$
V.A.	valeur de « Niv » impliquant : - une reconnaissance de la nature et de l'origine du défaut. - une surveillance de l'évolution du nivellement.	$100 < V \leq 120$	$9 \leq Niv < 15$
V.I.	valeur de « Niv » impliquant une correction à effectuer dans un délai maximal de : - 15 jours (zones à évolution rapide) - 1 mois (autres zones) à compter de la découverte du défaut.	$100 < V \leq 120$	« Niv » $\geq a^*$
V.R.	valeurs de « Niv » impliquant une restriction de circulation à la vitesse Vral.	Vral 80	$b^* \leq Niv < c^*$
		Vral 60	$d^* \leq Niv < e^*$
		Vral 40	$Niv \geq f^*$

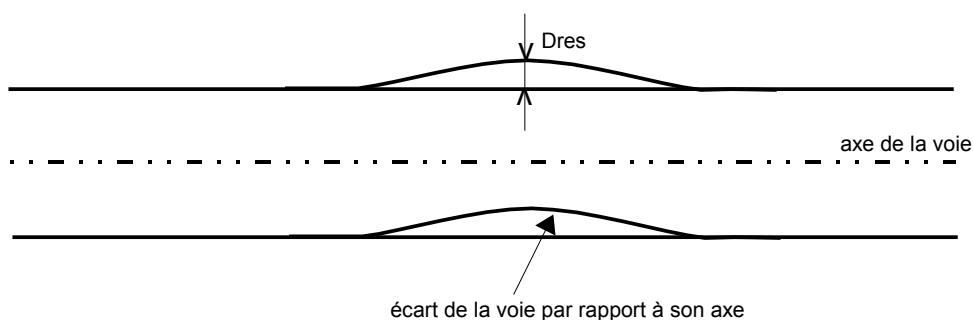
Dans la zone du déraillement, le paramètre Niv est globalement en valeur d'objectif **V.O.** (5 mm) sur les deux files de rail. Deux points sur la file de petit rayon (6 mm) sortent de la plage **V.O.** sans atteindre la valeur d'alerte **V.A.** (10 mm).

Il n'y a aucune anomalie du nivellement longitudinal.

Dressage de la voie

Les défauts de dressage de la voie sont des anomalies de géométrie, situées dans le plan horizontal, représentées par l'écart (Dres, en millimètres) d'un point du côté du rail, à une hauteur de 15 mm en dessous du plan de roulement, par rapport à la ligne moyenne idéale du tracé en plan.

* Valeurs chiffrées appartenant au référentiel interne du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué



Les normes du référentiel (IN 1895) se schématisent de la façon suivante :

Niveau de qualité	Paramètres caractéristiques et actions à entreprendre	Vitesse max autorisée	seuils du paramètre Dres (mm)
V.O.	hors pose neuve	$V \leq 130$	$Dres \leq 5$
V.A.	valeurs de « Dres » impliquant : - une reconnaissance de la nature et de l'origine du défaut. - une surveillance de l'évolution du dressage.	$100 < V \leq 120$	$a^* \leq Dres < b^*$
V.I.	valeurs de « Dres » impliquant une correction à effectuer dans un délai maximal de : - 15 jours (zones à évolution rapide). - 1 mois (autres zones). à compter de la date découverte du défaut.	$100 < V \leq 120$	$Dres \geq c^*$
V.R.	valeurs de « Dres » impliquant : - une restriction de circulation à la vitesse Vral.	Vral 80	$d^* \leq Dres < e^*$
		Vral 60	$f^* \leq Dres < g^*$
		Vral 40	$Dres > h^*$

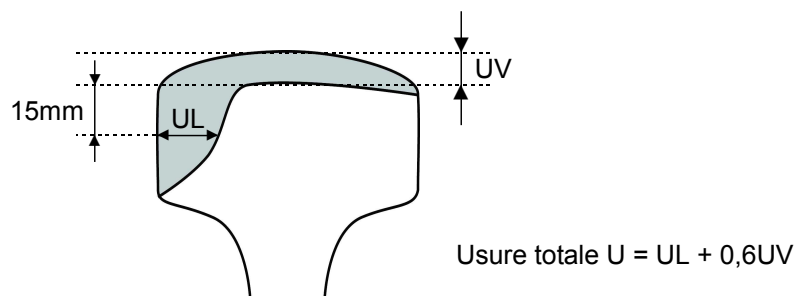
La valeur des écarts de dressage de la voie, mesurée sur le relevé Mauzin du 30 octobre 2007 (la mesure après l'accident est inopérante compte tenu des dégâts subis par la voie) ne donne aucune valeur supérieure à 5 mm. L'intégralité de la courbe (file de grand rayon) est en valeur d'objectif, pose neuve.

Il n'y a aucune anomalie du dressage.

Usure du champignon du rail

La photo de l'annexe 11 montre le profil du champignon du rail cassé. L'usure verticale (Uv) et l'usure latérale (Ul) ont été mesurées.

* Valeurs chiffrées appartenant au référentiel interne du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué



L'annexe 2 indique le détail du relevé d'usure dans la zone de pk (365,618 à 366,118). Un certain nombre de points du rail situent le profil en valeur d'alerte (de 9,2 mm à 10,60 mm), un point se situe en valeur d'intervention (11,40 mm).

Synthèse relative à la géométrie de la voie

Le positionnement des paramètres de géométrie de la voie selon les différents niveaux de qualité se résume selon le tableau ci-dessous :

	<i>V.O.</i>	<i>V.A.</i>	<i>V.I.</i>	<i>V.R.</i>	<i>arrêt</i>
écartement minimum	X				
écartement maximum		X			
G3	X				
écart de dévers	X				
dp – dA		X			
nivellement longitudinal	X				
dressage	X				
usure rail		X	X		

Conclusion : la géométrie de la voie est globalement bonne avant le déraillement ; par contre, le rail montre une usure certaine qui se traduit par quelques écartements maximum de la voie en valeur d'alerte ; l'Etablissement de maintenance de l'infrastructure avait obtenu pour cette raison la programmation en 2008 du remplacement du rail en file haute au cours de l'année 2008.

4.1.3- Expertise du rail cassé

Expertise initiale

La rupture du long rail soudé s'est produite au droit d'une soudure aluminothermique, entre deux traverses béton bi-bloc, au pk 365,848. La date de rupture de cette soudure est difficile à déterminer, faute de signalement « humain ». Les deux photos de l'annexe 5 montrent la lacune d'environ 70 mm qui s'est produite entre les deux abouts de rail. Le bourrelet de la soudure se trouve sur l'about côté Manosque (d'où venait le train). Ces photos font clairement apparaître que chaque about a été maté par le passage de roues, lors de circulations antérieures au TER 17 417, dans les deux sens de circulation. La deuxième photo de l'annexe 5 montre clairement l'aspect brillant de la cassure, témoin de la date très récente de cette rupture et son caractère brutal. Il est très vraisemblable que la rupture se soit produite lors de cette journée du 9 novembre. Toutefois, la base du patin comporte une zone oxydée, qui est la manifestation d'une fissure déjà ancienne s'ouvrant

progressivement. Dans la partie fraîchement rompue dans l'âme du rail, on observe une fissure verticale (défaut de fabrication) qui dans le cas présent n'a pas d'incidence sur le phénomène de rupture.

Les photos de l'annexe 6 montrent la géométrie de la voie après le déraillement (fortes déformations de dressage ayant « tiré » le rail) et l'état des deux traverses encadrant la rupture : les blochets béton sont « explosés » : les armatures métalliques sont mises à nu, les attaches des traverses 20 et 21 sont desserrées. Le blochet 20 est « explosé » : l'attache intérieure ne porte plus sur le patin et l'attache extérieure a disparu ; le rail, à cet endroit, n'est plus retenu et ne peut assurer son rôle de maintien antagoniste à la force centrifuge.

Analyse de laboratoire de la soudure rompue

La rupture de la soudure aluminothermique a été analysée au « Centre d'Expertises et d'Essais de Saint-Ouen » de la SNCF. La photo de l'annexe 9 expose en gros plan quelques détails de cette rupture.

Cette soudure a été réalisée en 1986 (poinçon du soudeur 9-88-86). Le procédé de soudage est du type « PLI sans joint feutre », procédé qui n'est plus utilisé aujourd'hui. Les rails encadrants sont des rails de profil U 33, fabriqués en 1954 selon le procédé Thomas, de nuance 700 fabriqués par l'usine de Wendel à Hayange.

Le rail côté Manosque présente une fissuration verticale (défaut de fabrication se produisant à cette époque avec les aciers Thomas élaborés à partir de lingots) qui n'a pas d'incidence sur la cause de la rupture de la soudure.

Lors de la réalisation de la soudure, selon le procédé « PLI » de l'époque, le métal de soudure en fusion a coulé entre le rail et la plaque de fond et a provoqué l'apparition d'une bavure de métal au niveau du patin du rail. Il en est résulté plusieurs amorçages de fissures voisines et décalées dans le temps au niveau du changement de section constitué par le rail et le bourrelet de la soudure. La zone fissurée apparaît oxydée, montrant ainsi qu'elle a été exposée à l'air pendant plusieurs semaines.

Lorsque les fissurations de fatigue ont suffisamment affaibli le profil, la soudure s'est rompue brutalement. Le faciès de rupture non oxydé indique que la soudure rompue n'est pas restée longtemps en voie, mais néanmoins les trains des deux sens ont circulé sur cette rupture puisqu'il y a eu matage des deux faces de rupture au niveau du champignon.

En ce qui concerne la qualité de la soudure réalisée en 1986, les analystes la considèrent comme conforme au résultat attendu lors de la mise en oeuvre du procédé PLI lors de soudage de rails de réemploi (rails âgés de 30 ans au moment de l'opération).

La base de donnée pour le retour d'expérience sur la tenue des rails du réseau ferré national est renseignée de cet événement ; selon le référentiel « IN 0285 codification des défauts de rail ». Le centre d'essais de Saint-Ouen a attribué la codification « 4211 » : « fissuration partant du bourrelet au niveau du patin et se développant suivant un plan transversal dans les rails adjacents ». Dans le cas présent, la fissuration s'est développée verticalement dans le rail, en limite du métal d'apport de la soudure.

L'amorce de rupture au changement de section constitué par le bourrelet de la soudure se rencontre fréquemment pour les soudures aluminothermiques anciennes.

4.1.4- Expertise des traverses rompues

Une vue complète d'une traverse béton bi-bloc équipant la voie ferrée de la zone de Pertuis figure en annexe 13.

Constat d'ensemble : Les blochets de la file opposée à la rupture de la soudure aluminothermique

ne présentent pas de défauts particuliers ; seuls les blochets du côté de la rupture ont été martelés. L'état de surface du béton présente les marques habituellement rencontrées sur des traverses en voie depuis plus de 20 ans.

La mesure des cotes des blochets a montré la conformité géométrique aux plans de fabrication.

Examen du béton : les éléments récupérés sur les traverses ne mettent pas en évidence d'anomalie particulière concernant l'homogénéité du béton. Quelques déchaussements de granulats roulés sont observables, probablement à cause des chocs répétés de roues sur la lacune du rail. L'examen des autres parties du béton ne désigne aucune autre anomalie.

Examen des armatures : l'examen des armatures supérieures et inférieures des blochets endommagés montre la conformité des aciers utilisés ainsi que les cotes de soudage des grilles. On n'observe pas de corrosion particulière sur l'ensemble de ces aciers, ce qui confirme la qualité des enrobages ainsi que l'absence de fissures dans le béton des blochets. La partie scellée des entretoises ne présente aucune trace de corrosion importante pouvant laisser soupçonner des désordres structurels avant rupture des blochets.

Conclusion : la rupture des blochets est due aux chocs répétés des roues sur la lacune provoquée lors de la rupture de la soudure aluminothermique. Les traverses examinées ne présentent aucune anomalie de fabrication susceptible de mettre en cause leur résistance mécanique.

En l'état actuel des réflexions, aucune parade n'est trouvée pour éviter ou réduire la dégradations des blochets de traverses béton bi-blocs lorsqu'elles sont battues par le patin d'un rail cassé dont les attaches n'ont plus de serrage en valeur d'objectif.

4.1.5- Evaluation de l'efficacité des attaches.

L'annexe 10 présente les résultats d'une prospection de l'efficacité du serrage des attaches de rail, dans deux zones proches du lieu de déraillement. Cette prospection a été réalisée après le déraillement.

Le résultat de cette prospection montre qu'une zone est classée « valeur d'alerte », et l'autre zone est classée « valeur d'intervention ». Selon les critères du référentiel de maintenance de la voie, les attaches de la voie nécessitent d'être resserrées dans un délai déterminé.

La conséquence de ce serrage non optimal des attaches est que l'ouverture de la lacune a pu être plus importante qu'avec un serrage optimal.

4.2- Ruptures de rails observées sur la ligne Aix-en-Provence / Briançon.

La surveillance et la maintenance de la ligne Aix en Provence / Briançon est assurée par deux établissements: l'EVEN de Marseille Côte Varoise et l'Etablissement Multifonctionnel (EMF) de Gap.

Recensement des ruptures de rail sur la ligne Marseille / Briançon pour la partie gérée par l'Etablissement « EVEN de Marseille Côte Varoise »

Le tableau ci-dessous liste ces ruptures :

<i>date</i>	<i>file de rail</i>	<i>pk</i>	<i>code défaut</i>	<i>commentaires</i>
07.12.2001	G	363,027	421.3	Rupture de soudure découverte par CEV, après appel de conducteur.
08.02.2004	D	365,185	421.2	
24.02.2004	D	365,710	421.3	

<i>date</i>	<i>file de rail</i>	<i>pk</i>	<i>code défaut</i>	<i>commentaires</i>
03.02.2005	G	381,323	421.2	
20.11.2005	D	362,295	421.3	
12.02.2006	G	361,850	421.2	déecté par conducteur du 17 411
30.01.2007		370,550	254.2	déecté par tournée agent voie
02.02.2007	G	398,530	421.2	déecté par conducteur du 17 400.
09.11.2007	D	365,848	421.2	« déraillement de Pertuis »
17.12.2007	D	367,290	421.3	déecté par tournée agent voie

Signification des codes défaut :

- 421.2 = soudure aluminothermique, fissuration transversale du profil, dans l'axe de la soudure,
- 421.3 = soudure aluminothermique, fissuration transversale de fatigue du champignon, dans la zone de soudure,
- 254.2 = défaut en pleine barre par corrosion du patin (petite fissure de fatigue située sur la face inférieure du patin, en forme de lunule centrée sur une piqûre de corrosion (type de rupture imprévisible).

Recensement des ruptures de rail sur la ligne Marseille / Briançon pour la partie gérée par l'EMF Gap:

<i>date</i>	<i>pk</i>	<i>commentaires</i>
10.06.2002	346,650	traverse béton « explosée »
18.09.2003	346,587	traverse béton partiellement dégradée
31.10.2003	345,495	traverse béton « explosée »
29.01.2007	347,266	traverse béton « explosée », déectée par conducteur du 17 417
05.07.2007	314,460 (code 421.2)	déectée par tournée agent voie
07.11.2007	313,300 (code 254.2)	déectée par les installations

Sur cette période (2001-2007) où l'on dénombre 16 ruptures de rail, 4 ruptures ont été signalées par les conducteurs, 3 ruptures par un agent de la voie, une par les installations de signalisation en gare. Le recueil d'information n'indique pas comment ont été déectées les sept autres ruptures ; le seizième cas est l'accident du 9 novembre 2007 présentement étudié.

Concernant les seuls événements survenus en 2006 et 2007 (8 événements), 7 ont été déectés par un agent voie ou un conducteur et un seul (accident de Pertuis) ne l'a pas été.

Commentaire : alors que la section de ligne Marseille / Veynes s'étend des pk 441 à 240, sur les seize ruptures inventoriées ci-dessus, sept se sont produites entre les pk 361,850 et 367,290 et quatre entre les pk 345,495 et 347,261. On constate ainsi une concentration géographique de ces ruptures : 7 ruptures sur une zone de 5,4 km et 4 ruptures sur une zone de 1,7 km pour une section de ligne de 201 km.

Corrélation entre événements signalés par les conducteurs et ruptures recensées par

Etablissements Infrastructure:

L'annexe 14 précise, parmi les ruptures de rail observées sur la ligne Aix en Provence / Manosque de 2002 à 2008, celles qui ont fait l'objet d'un signallement par les conducteurs.

Seuls trois événements signalés par les conducteurs figurent sur la liste des ruptures recensées par les établissements « Equipement », encore que le pk de l'évènement du 12 février 2006 diffère selon le signallement conducteur (pk 382) ou l'enregistrement dans la base « Equipement » (pk 361,850). Les deux « ensembles » de signalements sont relativement disjoints, ce qui peut s'interpréter en ce sens que les conducteurs sont sensibles à des mouvements anormaux causés par la voie et sont peu sensibles aux effets des ruptures de rail.

4.3- Expertise du matériel roulant

L'examen des essieux du matériel roulant ayant circulé précédemment au TER 17 417 a été réalisé. Il s'est agi du train 17 404, constitué de la locomotive diesel BB 67 542 et des quatre voitures 2177864, 2082037, 3077085 et 2992139.

La vérification n'a pas été réalisée dans les meilleurs délais ; la locomotive ayant parcouru plusieurs centaines de kilomètres tandis que les voitures ont effectué un parcours Meyrargues / Briançon suivi d'un voyage Briançon / Marseille totalisant 550 km avant de pouvoir être vérifiées sur voie de fosse. Aucune trace de contact about de rail contre la table de roulement n'a pu être mise en évidence.

4.4- Signalements des chocs ou mouvements anormaux en ligne par les conducteurs et contrôleurs

Un certain nombre de ruptures de rail (en pleine barre ou sur une soudure) sur la ligne comme sur le reste du réseau sont signalées par les conducteurs.

4.4.1- Signalement par les conducteurs dans les jours qui ont précédé le déraillement.

Les deux abouts du rail cassé présentant des traces de matage, le Service Traction régional a été interrogé sur les points suivants :

- la grandeur de la lacune était-elle la même au passage des trains précédents ?
- l'anomalie était-elle décelable par les trains précédents ?

Les bulletins de service (BS, document relatif au conducteur et à l'engin moteur qu'il conduit) des conducteurs des trains ayant circulé le 9 novembre ont été examinés et dans certains cas, le conducteur a été auditionné. La bande graphique (enregistrement des événements de conduite) des engins moteurs qui en sont équipés a été examinée ; les engins modernes munis d'enregistreurs statiques sont exclus de l'observation compte tenu de l'impossibilité de détecter un choc.

La même étude des bulletins de service des trains circulant sur la même portion de ligne les jours précédents (du 5 au 8 novembre) a été réalisée.

Le référentiel IN 1514 « Circulation des trains » qui se décline dans le référentiel des conducteurs TT 0516, chapitre F « anomalies, incidents, accidents », article F.11.02, indique :

« en block manuel, si le conducteur ressent au cours de la conduite de son train un choc ou mouvement anormal, celui-ci doit aviser le garde du premier poste de cantonnement après s'être arrêté au signal d'entrée, s'il y en a un, même s'il est ouvert ou en voie unique, à défaut de signal d'entrée, à l'aiguille d'entrée ».

Enfin, la base retour d'expérience du domaine traction sur l'année 2007 pour la portion de

voie concernée a été consultée, pour noter si des signalements de choc ou mouvement anormal ont été émis par les conducteurs concernés.

Etude des bulletins de service et des bandes graphiques des trains ayant circulé le 9 novembre 2007 :

N° du train	Heures de passage à Mirabeau	Engin moteur	Identification du conducteur	Établissement d'attache.
85 540	04.33	locomotive	(01)	MBC
17 409	07.25	Automoteur XTER	(18)	Veynes
17 400	08.33	Automoteur XTER	(07)	Veynes
17 411	11.17	Automoteur ACG	(03)	MBC
90 619	11.55	locomotive	(22)	Veynes
17 402	15.21	Automoteur AGC	(25)	MBC
17 413	16.11	Automoteur AGC	(24)	MBC
17 404	18.17	locomotive	(23)	Veynes
17 417	20.07	locomotive		Veynes

MBC = unité de production de Marseille Blancarde ; Veynes = unité de production de Marseille Blancarde-annexe de Veynes.

L'analyse des bulletins de service des trains indiqués ci-dessus ne fait apparaître aucun signalement de mouvement ou choc anormal sur le parcours Mirabeau-Meyrargues.

Etude des bulletins de service des trains ayant circulé les jours précédents :

La liste des trains dont les bulletins ont été contrôlés (avec l'identification des conducteurs) est la suivante :

N° train	05 novembre 2007	06 novembre 2007	07 novembre 2007	08 novembre 2007
17 409	RAS - (15)	RAS - (10)	RAS - (04)	RAS - (07)
17 411	RAS - (20)	RAS - (17)	RAS - (12)	RAS - (06)
17 413	RAS - (19)	RAS - (16)	RAS - (11)	RAS - (05)
17 400	RAS - (18)	RAS - (15)	RAS - (10)	RAS - (05)
17 402	RAS - (17)	RAS - (12)	RAS - (06)	RAS - (13)
17 404	RAS - (27)	RAS - (14)	RAS - (09)	RAS - (02)
90 618	RAS - (26)	RAS - (13)	RAS - (08)	RAS - (01)

Aucun signalement relatif à une éventuelle défectuosité de la voie n'est mis en évidence. L'analyse des bulletins de service met en évidence une absence de signalement de choc ou mouvement anormal ressenti par les conducteurs. Fréquence de passage des conducteurs sur cette portion de ligne :

<i>Conducteur n°</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>
<i>Nombre de passages</i>	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1

Durant cinq journées d'exploitation, le nombre de conducteurs ayant circulé sur cette portion de ligne est important. Aucun conducteur n'est passé plus de deux fois au même endroit, ce qui constitue une antériorité modeste pour mémoriser l'état récent de la ligne et arriver à bien discriminer une évolution dans le ressenti de la voie.

4.4.2- Retour d'expérience relatif aux signalements (rails cassés, chocs anormaux) sur la ligne Marseille / Briançon par les conducteurs depuis 2004

Le tableau ci-dessous répertorie sur la période 2003 / 2008 les signalements des conducteurs :

<i>gare</i>	<i>date évènement</i>	<i>pk</i>
Marseille Saint-Charles		
	18/09/2003	439
	22/05/2003	431,6
	14/07/2006	426,6
	17/07/2006	426,7
Gardannes		418,6
Aix-en -Provence		408,2
	02/02/2007 (rail cassé)	398,5
Meyrargues		382
	12/02/2006 (rail cassé)	382 (le service Equipement a noté l'évènement au pk 361,850)
	09/11/2007	365,8
	07/12/2001	363,027
	12/02/2006	361,850 (signalé par conducteur du 17 411)
Mirabeau		359,8
	29/06/2007	358,8
	09/08/2006	352
	29/01/2007 (rail cassé)	347,266 (voisin de 348)
Manosque		339

<i>gare</i>	<i>date évènement</i>	<i>pk</i>
	19/04/2006	338,5
La Brillanne		325,4
	15/07/2003	308,3
Château-Arnoux		306,9
Sisteron		290,5
	01/08/2006	283
Mison		278,6
Laragne		271,5
Serres		256,1
transition des pk	-----	-----
Veynes		240
Montmaur		246,6
La Freyssinousse		256,3
Gap		266,3
Briançon		348

Le positionnement des signalements s'avère ciblé sur deux zones concentrées : en début de ligne sur Marseille / Aix-en-Provence et sur la zone Meyrargues / Manosque. La population des conducteurs se révèle attentive aux particularités de la voie et n'hésite pas à appliquer la procédure de signalement. La part des rails cassés signalés par les conducteurs parmi les ruptures totales constatées est analysée au paragraphe 4.6 ci-après.

Les signalements de janvier 2007, février 2007 (rail cassé) et mars 2007 sont le seul fait des conducteurs de Veynes, dont les roulements d'utilisation les font circuler principalement sur cette ligne. Ces conducteurs de Veynes constituent de bons observateurs de l'état technique de la ligne ; ils ont circulé le 5 novembre, puis le 6 novembre (conducteur 15) sans réaliser de signalement. Le désordre survenu dans la voie est très certainement postérieur au 6 novembre.

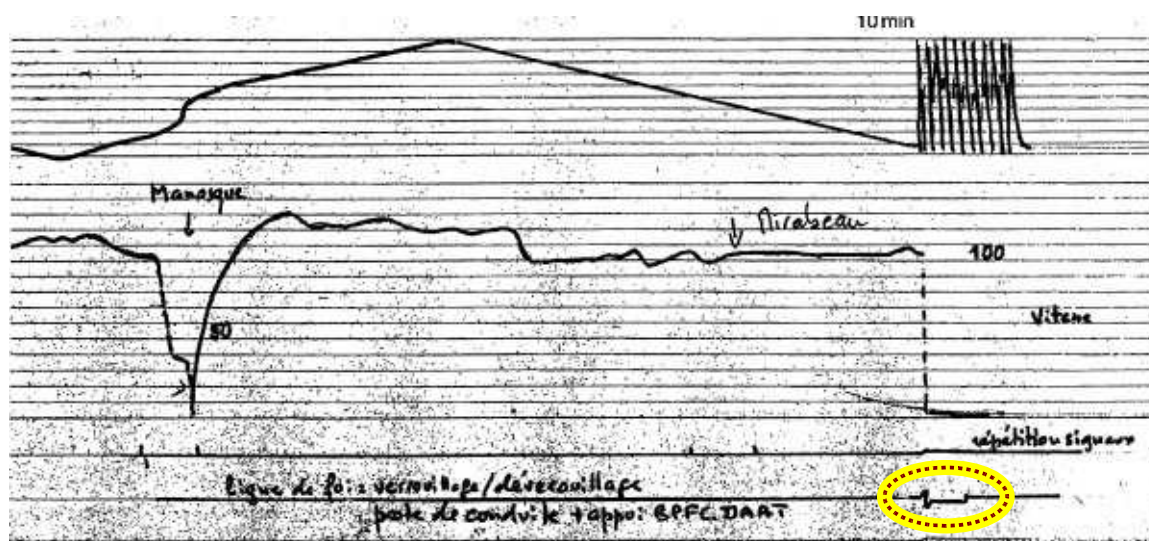
4.4.3- Signalement par les contrôleurs

Le contrôleur titulaire du train précédent 17 404 a pu être questionné le 14 novembre, soit cinq jours après l'évènement : il a répondu ne se rappeler **de rien de particulier**, si ce n'est que la voie est de mauvaise qualité dans cette zone.

Cette déclaration est à mettre en parallèle au relevé technique Mauzin concernant la géométrie de la voie, ce relevé faisant apparaître au contraire (cf paragraphe 4.1.3) une qualité plutôt bonne de la voie dans cette zone.

4.5- Analyse des bandes graphiques (engins équipés)

La bande graphique extraite de l'enregistreur de la locomotive tirant le train 17 417 présente la particularité suivante :



L'examen de la ligne de foi enregistrant le verrouillage/déverrouillage du pupitre de conduite fait apparaître un ressaut du style encreur (dans le cercle d'attention), témoignant que le choc subi par la locomotive s'est transmis mécaniquement à l'enregistreur.

L'analyse des bandes graphiques des trains précédents :

<i>n° du train</i>	<i>traction</i>	<i>rang/train déraillé</i>
17 404	locomotive	n-1
90 619	locomotive	n-4
85 540	locomotive	n-8

ne permet pas d'observer de déviation verticale du stylet de la ligne de foi ; si choc il y a eu, il a été insuffisant pour provoquer une vibration d'amplitude suffisante.

4.6- Parcours de la voie et détection auditive.

L'enquêteur a circulé sur la portion de ligne Aix-en-Provence / Manosque / Veynes accompagné du Dirigeant voie, le 30 janvier 2007 et le 25 février 2007, du cadre traction-dirigeant de proximité du conducteur ainsi que du responsable régional traction-sécurité.

La circulation en ligne s'est faite à bord de la cabine de conduite de l'engin moteur, en notant le ressenti (vibrations, mouvements chocs éventuels, bruits) du dirigeant voie disposant en main du relevé Mauzin du 30 octobre 2007. Les conducteurs de l'annexe traction de Veynes, très habitués à la ligne, sont capables de détecter certaines imperfections de géométrie de la voie ; ce n'est pas le cas des conducteurs des UP de Marseille Blancarde ou d'Avignon qui circulent sur la ligne beaucoup moins fréquemment (le premier conducteur que l'enquêteur a accompagné, issu de l'UP de Marseille Blancarde n'avait pas circulé sur la ligne depuis deux mois).

Le type de l'engin moteur influe sur le ressenti en cabine de conduite (qualité de la

suspension, filtrage des vibration, insonorisation,...). Sur le parcours Aix-en-Provence / Manosque, l'enquêteur a noté la succession des zone en barre normale ou en LRS.

<i>pk</i>	<i>pk</i>	<i>Type de pose</i>	
Aix-en-Provence		LRS	BN
408,766	407,996		X
407,996	390,379	X	
390,379	387,175		X
387,175	383,600	X	
383,600	382,336		X
382,336	381,860	X	
381,860	381,664		X
381,664	379,589	X	
379,589	378,295		X
378,295	377,724	X	
377,724	367,538		X
367,538	361,374	X	
361,374	360,286		X
360,286	360,110	X	
360,110	359,280		X
359,280	358,157	X	
358,157	357,727		X
357,727	356,600	X	
356,600	355,536		X
355,536	340,159	X	
340,159	336,040		X
Manosque			

Les barres normales sont constituées de rails des types suivants : 12C, 18C, 18D, 22D, 24C, 33D, 36C et 36D.

Cette fréquence importante de changement de type de pose complique la référence intuitive du conducteur ; on peut légitimement comprendre que le son émis par une lacune du rail dans une zone LRS courte puisse être interprété comme étant dans la continuité de la zone « barres normales » précédente.

L'impact du filtrage des secousses issues de la voie par la suspension des engins moteurs ainsi que le niveau de bruit ambiant en cabine explique la différence de ressenti à bord de l'engin moteur, en cabine de conduite. Le ressenti du conducteur peut se caractériser selon le tableau suivant :

Locomotive « 67 400 »	« dynamique ferroviaire » : réagit aux défauts de la voie, les voyageurs sont « secoués ».	les signaux sonores sont noyés dans le bruit ambiant : difficile de discriminer barre normale/LRS
Automoteur « X TER »	« dynamique ferroviaire » : suspension souple qui filtre les défauts de la voie.	meilleur rapport signal/bruit : meilleure distinction auditive barre normale/LRS.

Il ressort de ces tournées terrain que la perception des conducteurs sur l'état de la voie est notablement influencée par le type d'engin à bord duquel ils se trouvent et par leur expérience propre de la ligne. Lors d'une des circulations du 25 février, la locomotive diesel tirant le train s'est mise à tamiser fortement sur une trentaine de kilomètres : il semblait difficile d'imaginer qu'un conducteur puisse discriminer un défaut isolé dans un engin soumis à un lacet entretenu.

Deux conducteurs ont pu témoigner auprès de l'enquêteur avoir été confrontés dans le passé à un rail cassé : c'est la différence de sonorité au passage d'une lacune de rail cassé (par rapport à la circulation sur un joint de rail « classique ») qui a attiré leur attention. La différence sonore s'explique par la hauteur du son émis et par l'intensité de ce son. Dans la zone du rail cassé, la différence de longueur des barres amont et aval par rapport au rail d'origine engendre un mode vibratoire de fréquences différentes liées à la longueur des barres et au fait que dans un cas existe des éclisses entre barres tandis qu'une rupture laisse vibrer les abouts de rail librement.

Il pourrait être pertinent d'inventorier les signaux sonores perçus par les conducteurs selon la rupture de continuité du rail et selon l'engin qu'ils conduisent ; six cas au moins apparaissent :

<i>Bruit de référence sur joint de rail (barres normales)</i>	<i>lacune maximum de 23 mm</i>	<i>lacune de rail ≥ 40 mm</i>
Locomotive type BB 67400	a	b
Automoteur X-TER	c	d
Automoteur AGC	e	f

L'hétérogénéité des rails sur l'intervalle Aix-en-Provence / Manosque tel que le tableau établi plus haut le montre (21 successions « barres normales » / »LRS») constitue une référence difficilement mémorisable dans le subconscient du conducteur ; cet état de fait réduit la capacité du conducteur à discriminer le son anormal parmi les « bruits normaux » issus de la voie et de l'engin.

4.7- Evènements antérieurs de nature comparable.

Pour établir une antériorité de même nature que l'évènement de Pertuis, nous avons extrait de la base d'information de la SNCF les évènements ainsi libellés : train de voyageur ou de fret, ayant déraillé sur voie principale du fait d'une rupture de barre ou de soudure, hors zone d'aiguillage. Selon nos informations, le recueil des évènements pour les années antérieures à 1990 peut ne pas être exhaustif.

<i>date du déraillement</i>	<i>ligne</i>	<i>lieu</i>	<i>description des faits</i>	<i>victimes</i>
19.01.1963	Bordeaux / Nice	entre Toulon et Fréjus pk 107,1	déraillement du « Bordeaux / Nice » (V= 88 km/h)	- - - - -

<i>date du déraillement</i>	<i>ligne</i>	<i>lieu</i>	<i>description des faits</i>	<i>victimes</i>
30.01.1963	Paris / Marseille	Miramas pk 805	déraillement train 59	- - - - -
06.02.1964	St-Pierre d'Albigny / Bourg St Maurice.	pk 39,380	déraillement train 629	- - - - -
15.01.1990	Valence / Moirans	Vinay	déraillement du train Talgo Pablo Casals (V=120 km/h) lacune de 30 mm. rupture de la soudure qui avait été redressée à la presse en octobre 1988.	- - - - -
04.12.1991	Limoges / Périgueux	Nexon	déraillement du train 90 750. défaut métallurgique (tache ovale - fissuration transversale du champignons sur rail mis en place en 1957).	- - - - -
21.02.1992	Paris / Strasbourg	Pagny / Meuse	déraillement de 11 wagons rupture d'une soudure du rail file extérieure (voie renouvelée en 11/1991).	- - - - -
24.10.1992	Paris / Bordeaux	Les Aubrais	déraillement de deux wagons rupture longitudinale du rail	- - - - -
20.04 1997	Villefranche / La tour de Carol (voie métrique)		rupture soudure électrique sur voie limitée à 35 km/h ; Origine du rail : 1882 soudé électriquement et reposé en 1991	- - - - -
21.03.2000	Moret / Roanne	St-Galmier	déraillement de 19 wagon MD + incendie	- - - - -
09.07.2000	Paris / Lille	La Chapelle	déraillement de 4 wagons rupture du rail U 36 ayant eu des fissures importantes en dessous du patin	- - - - -
17.08.2000	Villefranche / La Tour de Carol		rupture rail voie métrique (rail 30 kg type « Est »)	- - - - -
30.10.2001	Bordeaux / Irun	Saubusse les Bains	déraillement de la rame TGV 363. ruptures multiples du rail en file haute (1960)	5 blessés
25.02.2006	Clermont / Béziers	Saint-Flour	déraillement train de voyageur locomotive « 8500 » + 3 voitures Corail. rupture soudure aluminothermique sur rail double champignon où certains coins de serrage sont sortis	2 blessés
30.05.2006	Paris / Mulhouse	Pantin	déraillement locomotive 16 721 HLP à 30 km/h ? Rupture à partir d'un défaut fissurant au congé de raccordement âme-patin	- - - - -
09.11.2007	Marseille / Grenoble	pk 365,848	déraillement TER 17 417. rupture soudure aluminothermique sur LRS	- - - - -

Bilan : Le relevé établi ci-dessus fait état de 12 déraillements pour la période postérieure à

1990 (8 trains de voyageurs, une locomotive HLP, 3 trains de fret) qui se sont produits en 17 années, occasionnant 7 blessés. A ce jour, on peut estimer que le risque « rupture de rail occasionnant le déraillement d'un train » est contenu et a présenté des conséquences limitées.

4.8- Mesures prises à la suite de l'accident

4.8.1- Mesures nationales

- **Mesures particulières « premiers froids »** : la Direction SNCF de l'Infrastructure a rappelé aux régions SNCF la nécessité d'effectuer sans retard les tournées à pied de surveillance de la voie (dont les rails) dès l'arrivée des premiers grands froids afin de détecter les éventuelles ruptures de rail se produisant sous l'effet d'une contraction accentuée du rail.
- **Situation sur d'autres réseaux européens** : la Direction SNCF de l'Infrastructure a engagé une étude auprès de certains autres réseaux ferroviaires européens pour connaître leur situation en matière de rails cassés, l'importance du phénomène, les modalités de détection et les modalités d'exploitation. L'objet de cette étude comparative est de trouver éventuellement des techniques de surveillance et/ou de détection plus efficace. Le bilan de cette étude comparative n'a pas encore été établi.

4.8.2- Mesures régionales

Le correspondant traction régional s'est assuré que les Unités de Production Traction de la région sensibilisaient bien leurs conducteurs sur la nécessité d'être très attentifs à l'état de la voie et sur l'ardente obligation de signaler l'évènement rencontré (choc, mouvement dû à la voie) sur le bulletin de service, ainsi que de le signaler téléphoniquement dans les meilleurs délais, comme le prescrit le référentiel des conducteurs TT 0516, article F.11.02.

Corrélativement, le correspondant régional s'est attaché à ce que les services de l'équipement donnent en retour vers les conducteurs, l'information exacte sur le diagnostic de l'anomalie qui a été identifiée ainsi que les travaux correctifs engagés.

Au plan des principes, il est utile de rappeler le rôle central tenu par le conducteur à l'égard de l'infrastructure et du matériel roulant qu'il conduit : le conducteur se situe au premier niveau de maintenance du système (cinq niveaux sont identifiés) ; à ce titre, le conducteur est tenu de signaler tout fonctionnement anormal de son engin (utilisation du carnet de bord) et/ou toute situation anormale rencontrée en circulant sur l'infrastructure (bulletin de service). Les services de maintenance Infra ou Matériel ont besoin de cette information pour apprécier la tenue en service de la technologie qu'ils ont en charge. En retour, il est pertinent que les services de l'infrastructure renseignent les conducteurs sur les remèdes qu'ils ont apportés à l'installation à la suite à ces signalements.

4.9- Le simulateur de conduite de la région de Marseille à Miramas

Le processus de formation des conducteurs se déroule sur les trois plans : théorique (description engins, réglementation de circulation ferroviaire), pratique en conduisant les engins, simulation par exercices sur simulateur.

La SNCF a implanté dans certains établissements un simulateur de conduite permettant d'initier les élèves conducteurs ou de perfectionner des conducteurs plus expérimentés. Pour la région de Marseille, à disposition des différentes unités de production traction, le simulateur de conduite est installé dans l'unité de formation traction de Miramas.

Contigu aux salles de cours, une cabine de conduite semblable à celle d'une locomotive type

BB 22 200 est installée. Le stagiaire, à son pupitre de conduite, est devant un écran sur lequel se déroule une voie ferrée avec la signalisation correspondante. L'espace cabine est sonorisé pour recréer l'ambiance sonore ressentie dans la réalité de la conduite d'un train : ronronnement des moteurs de traction, bruit des compresseurs d'air, sifflement de l'échappement d'air comprimé, avertisseur sonore... Le moniteur se tient dans une pièce contiguë, commande les scénarios auxquels est soumis l'élève, entend et observe sa manière de conduire le train (fictif) grâce à une caméra de télévision, peut communiquer avec lui si nécessaire et le questionner.

Il existe une séquence de conduite qui comporte l'audition d'un « bruit » sensé représenter le son entendu au passage d'une lacune de rail cassé ; il existe aussi en catalogue un autre son représentatif du passage sur un pétard. Selon l'enquêteur, le bruit émis par le rail cassé virtuel peut être qualifié de son « neutre ». La simulation du passage sur un pétard émet un son plus intense.

Le moniteur s'attache à ce que l'élève ait les bonnes réactions et déploie les bonnes procédures :

- son « rail cassé » : arrêter son train, protéger son train, protéger la voie contiguë, visiter la voie et bien repérer le pk de l'évènement pour donner une information fiable à l'agent circulation.
- son « pétard » : provoquer l'arrêt d'urgence immédiatement.

Le moniteur, conscient que le son produit au titre du « rail cassé » est peu représentatif du son réel, essaie une démonstration approchante : à bord d'un engin moteur, les stagiaires déplacent cet engin depuis la plaque tournante du dépôt vers une voie de remisage ; le passage sur la lacune de rail importante (rail de plaque / rail de voie de sortie) peut être jugé semblable à la réalité.

Conclusion : il apparaît que la séquence prévue au simulateur de conduite a pour principal objet que le conducteur mette en oeuvre la bonne procédure ; il ne s'agit pas de former son ouïe aux finesses musicales qui lui permettrait de discerner sans difficulté le bruit du rail cassé en LRS par rapport au son émis par un joint de rail en barres normales.

5- Déroulement de l'accident

5.1- Le contexte de la voie

Compte tenu de la modicité du trafic, le cantonnement de la ligne est assuré par un block manuel ; de ce fait, la ligne ne dispose pas des équipements de signalisation détectant la présence d'un train sur les rails, les rails étant utilisés comme partie active du circuit électrique de signalisation.

Sur les lignes comportant des circuits de voie, la rupture d'une des files de rails se traduit par l'information « zone occupée » qui apparaît sur le tableau de contrôle optique à disposition de l'agent circulation ; ou bien le sémaphore d'entrée du canton est fermé et commande l'arrêt du train suivant, qui peut repartir en marche à vue dans le canton aval présumé occupé alors qu'il ne l'est pas. Finalement, en block automatique, la détection « rail cassé » apparaît directement, soit à l'agent circulation, soit au conducteur ; chacun de ces opérateurs peut alors déclencher la procédure d'intervention corrective sur l'infrastructure.

Lorsque la voie n'est pas équipée de circuits de voie, ce qui est le cas sur Pertuis / Briançon, la détection d'un rail cassé n'est pas immédiate ; d'autres trains peuvent se présenter avant qu'un conducteur ne ressente le rail cassé et le signale ; des agents voie peuvent aussi faire cette détection au cours de leurs tournées à pieds s'il y a coïncidence entre leur tournée et l'évènement (fréquence des tournées à pied de six semaines à l'établissement EVEN de Marseille Côte Varoise).

5.2- Scénario probable décrivant les conditions du déraillement

Le résultat des diverses investigations relatives à l'état de la voie et de sa dégradation peut s'explicitier selon l'enchaînement suivant :

- **étape 1 : constitution de la portion de voie (pk 361,374 au pk 367,538) en LRS.** Cette portion de voie est régénérée en 1986 : le ballast et les traverses sont constitués de matériaux neufs et les rails, mis en service depuis vingt deux ans sur d'autres lignes, ont été régénérés et tous soudés entre eux pour former de longs rails soudés d'une longueur totale de 6 164 mètres.

Le procédé de soudage utilisé en 1986 est du type « PLI », dit « procédé de soudage à préchauffage limité », utilisant à cette époque un creuset réutilisable et un système rustique d'enveloppe du métal fondu. A partir des années 2000, le procédé « PLR » lui a été substitué, utilisant un creuset jetable et un système d'enveloppe du métal fondu très lisse pour éviter au maximum les bavures du métal refroidi.

Dans le cas du procédé de soudage « PLI », si le champignon du rail est meulé après réalisation de la soudure aluminothermique afin d'obtenir une surface de roulement la plus en continuité possible, l'âme et le patin laissent apparaître des reliefs du métal d'apport fondu inhérent à la méthode. Sous le patin du rail, des petites bavures proéminentes subsistent à proximité du bourrelet de métal fondu et peuvent constituer des amorces de fissures.

- **étape 2 : opération de vérification de serrage des attaches.** Les attaches assurent le maintien du rail sur les traverses et donc la bonne géométrie du plan de roulement malgré les contraintes auxquelles le long rail soudé est soumis. La précédente vérification devait avoir lieu en 2002, or il n'a pas été trouvé trace des résultats de cette vérification ; on peut alors supposer que cette vérification n'a pas été réalisée. Le sondage réalisé après l'accident a montré que l'efficacité des attaches se plaçait dans une plage intermédiaires aux valeurs d'alerte et aux valeurs d'intervention (cette conclusion se lit sur l'annexe 10.2 : pour une attache donnée, l'opérateur engage une pige graduée entre le patin du rail et le

crapaud-visible sur la photo de l'annexe 4 - la cote d'engagement est notée sur le tableau de l'annexe 10.2 ; tout engagement supérieur à 10 mm correspond à une attache à resserrer). Concrètement, la voie dans la zone du pk 365 nécessite un resserrage de ses attaches.

- **étape 3 : examen du rail par la méthode de détection aux ultrasons.** Le dernier passage de l'engin d'auscultation des rails a eu lieu le 25 mai 2004 et aucun défaut interne du rail n'a été détecté dans cette zone ; la fréquence de passage de cet engin est normalement de quatre ans pour ce type de ligne (échéance suivante au plus tard le 25 mai 2008).

Ce type de détection est efficace pour des défauts du métal situés dans le champignon du rail et se révèle impuissant pour détecter des défauts localisés dans l'âme et le patin.

- **étape 4 : apparition du défaut au patin du rail.** Lors de la réalisation de la soudure en 1986, la face inférieure du patin du rail a comporté une bavure de métal résultant du métal en fusion ayant coulé entre le rail et la plaque de fond du creuset servant de moule. Cette bavure s'est localisée au niveau du changement de section constitué par le rail et le bourrelet de la soudure.

Probablement au cours de l'année 2007, l'excès de contraintes dans le métal dans la zone du changement de section a engendré une fissuration de la semelle du patin. Cette fissuration s'est concrétisée en plusieurs fissures qui ont progressé lentement et régulièrement. L'ouverture a été suffisante pour que l'exposition à l'air provoque l'oxydation du métal mis ainsi à nu.

- **étape 5 : la rupture de la soudure du rail.** Les fissures affaiblissent le profil du rail ; à un moment donné, quand les contraintes de traction sont maximales (température extérieure minimale au petit matin) et sous le passage de la locomotive d'un train, la soudure se rompt brutalement.

Par rapport à l'axe de la voie, le rail rompu reste dans son alignement initial par l'action des attaches. La libération des contraintes de traction du rail provoque une lacune d'environ 40 mm ; le passage d'un train sur une telle lacune est normalement « entendu » par le conducteur, mais ce jour-là, aucun conducteur n'a son attention attirée par ce défaut de voie.

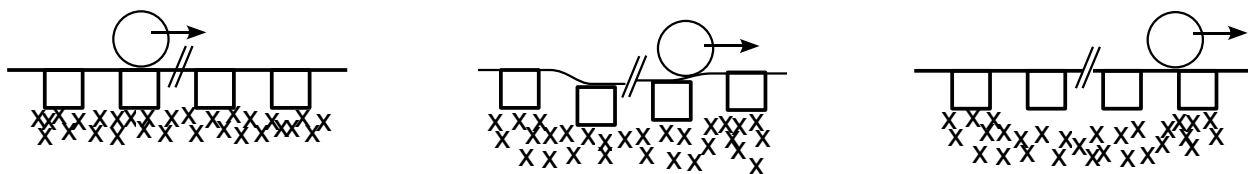
- **étape 6 : non détection par la surveillance de la voie.** La ligne ne disposant pas d'équipements de signalisation par circuits de voie, aucun dispositif électrique ne peut déceler la rupture du rail.

Ce jour-là, aucune surveillance humaine de la voie n'est effectuée ; la dernière tournée à pieds a eu lieu le 8 octobre, soit un mois auparavant ; la dernière tournée de surveillance en train a eu lieu le 19 septembre, soit environ deux mois auparavant.

- **étape 7 : poursuite de la journée du 9 novembre 2007.** La température ambiante croît au fur et à mesure de la montée du soleil, si bien que le rail cassé se dilate normalement et réduit de ce fait la largeur de la lacune.
- **étape 8 : ressenti de la voie par le personnel de bord.** Les conducteurs et contrôleurs des trains de la journée ne remarquent rien d'anormal ; le contrôleur du train 17 404, précédant celui qui a déraillé, déclare ne rien avoir ressenti « tant la voie est mauvaise », cette déclaration semble surprenante car le relevé Mauzin traduit une géométrie correcte de la voie, que l'enquêteur a pu apprécier lors de ses circulations en ligne pour ce qui concerne la portion de voie Manosque / Aix-en-Provence.

Néanmoins, les trains de la journée circulent sur la lacune où le matage des abouts de rail en est le témoignage.

- **étape 9 : apparition d'un phénomène de danse des traverses de part et d'autre de la rupture.** Avec l'avancement de la journée, la température décroît, tendant à augmenter la largeur de la lacune. Du fait de la différence d'altitude, la roue entrant en contact avec l'about aval du rail crée un choc à cet endroit, qui se traduit par une augmentation de la pression transmise par la traverse sur le ballast ; le ballast se tasse sous la traverse qui le comprime.



Sous le passage d'un essieu ; l'ensemble traverse + rail + essieu descend d'altitude jusqu'à ce que la traverse repose sur le ballast comprimé ; après le passage de l'essieu, le rail tend à reprendre la position horizontale initiale, la traverse laissant un vide au dessus du ballast comprimé. Ce mouvement alternatif vertical des deux traverses de part et d'autre de la rupture s'appelle la « danse » de la traverse.

- **étape 10 : martèlement inférieur des traverses.** On a vu que le martèlement de chaque about aval du rail par le passage d'une roue se transmet à chaque traverse correspondante, qui martèle le ballast, créant ainsi le phénomène de « danse ». Ce martèlement peut affaiblir la face inférieure de la traverse béton.
- **étape 11 : agression des attaches et martèlement supérieur des traverses.** Les attaches du rail présentant un serrage en VA ou VI, l'ouverture de la lacune de la rupture a pu être plus importante qu'avec un serrage optimal. Les sollicitations dynamiques du passage des essieux sur la rupture ont induit des efforts par flexion de l'about du rail, sur les attaches, jusqu'à l'arrachement du goujon. Dès lors, il y a possibilité de mouvement vertical du rail par rapport à la traverse. Le patin du rail martèle donc la partie supérieure des traverses. Ce martèlement désagrège les semelles cannelées (caoutchouc), puis a commencé à détruire les blochets en béton.
- **étape 12 : destruction des traverses encadrant la rupture.** Le martèlement des blochets (face inférieure contre le creux de ballast, face supérieure par le patin du rail) conduit à la désagrégation du béton pour ne laisser subsister que l'armature métallique (cf annexe 6.1).
- **étape 13 : gauche de la voie.** A chaque passage de roue, le rail se « dérobo » verticalement sous le double effet du creux de ballast et de la disparition du béton des blochets ; au droit des deux blochets détruits se crée un gauche important de la voie (gauche sur trois mètres mesuré à 39 mm).
- **étape 14 : conjugaison du gauche de voie et de la courbe de 490 mètres de rayon.** Au point de rupture se présente la situation la plus défavorable : là où s'est produite la rupture du rail (au droit de la soudure), en courbe, sur la file haute du rail qui constitue l'appui principal de l'essieu, se constitue un gauche important, de valeur supérieure au critère d'arrêt des circulations ferroviaires.

L'essieu de tête de la locomotive du train 17 417 aborde une situation où le rail se dérobo sous sa charge (dans la zone du raccordement parabolique de fin de courbe) : le boudin de la roue extérieure monte sur le champignon du rail et échappe au guidage. Finalement, ce sont les six premiers essieux du train qui s'échappent de la voie. En déraillant de ses quatre essieux, la

locomotive s'enfonce dans le ballast, ce qui participe d'emblée au ralentissement du train. Le ballast épais dans lequel se sont enfoncés les essieux déraillés participe au maintien vertical des véhicules ferroviaires.

- **étape 15 : déraillement et arrêt du train.** Dès la perception du choc lié au déraillement, le conducteur commande l'arrêt du train. Dans la séquence de ralentissement, le battement du rail guide certains essieux et en laisse échapper deux autres (le premier bogie de la deuxième voiture).

6- Analyse et recommandations préventives

L'examen des conditions du déraillement amène à rechercher les orientations préventives utiles dans les domaines suivants :

- l'état de santé des soudures constituant les LRS de certaines zones de la ligne Aix-en-Provence / Manosque, ainsi que sur les autres lignes du réseau ferré national de constitution semblable.
- l'aptitude des conducteurs à détecter certains défauts de voie.

6.1- L'état de santé des soudures constituant les LRS

Le déraillement de Pertuis relève d'une catégorie d'événements rares, si l'on se réfère au relevé des cas antérieurs recensés sur le réseau ferré national. La zone concernée entre Aix-en-Provence et Manosque est d'une relativement bonne qualité au plan de la géométrie de la voie, le ballast est en couche épaisse, les traverses sont en bon état.

Au plan national, les résultats du « patrimoine rail » sont en progrès constant, malgré le vieillissement de l'ensemble des rails ; cette évolution favorable est le fruit de la politique de la Direction de l'Infrastructure en matière de qualité des rails neufs, de qualité dans la réalisation des soudures, d'efficacité dans la surveillance et la détection des défauts.

Au paragraphe 3.6 est décrit l'état du patrimoine rail du réseau ferré national pour l'année 2006. Il apparaît que le taux de rupture des rails, pour l'année et sur ligne classique est de 0,73 ruptures / 100 km. Si l'on effectue une comparaison avec la section de ligne Aix-en-Provence / Manosque, 6 ruptures de rail (toutes concernant une soudure) ont été enregistrées sur l'intervalle (pk 361,850 / pk 367,290) entre le 8 février 2004 et le 17 décembre 2007 ; cette zone est comprise dans l'intervalle Mirabeau / raccordement de Pertuis. De même, entre les pk 345,495 et 347,266 (compris dans l'intervalle Sainte-Tulle / Corbières) et la période (06.2002 / 01.2007), 4 ruptures de soudure se sont produites.

Taux de rupture (Mirabeau / Rac.Pertuis) = 6 ruptures / 45 mois / 5,44 km.

→ 29,4 ruptures / an / 100km

Taux de rupture (Ste Tulle / Corbières) = 4 ruptures / 56 mois / 1,77 km

→ 48,4 ruptures / an / 100km.

La disparité des taux de rupture apparaît dans le tableau ci-dessous :

<i>Ligne(s)</i>	<i>Taux de rupture rail / 100 km</i>
Réseau ferré national. Lignes classiques	0,73
Ligne Aix/Manosque (Mirabeau / rac de Pertuis)	29,4
Ligne Aix/Manosque (Ste Tulle / Corbières)	48,4

Il est vrai que la moyenne nationale recouvre des réalités très variées, mais un tel écart nécessite que le cas de ces deux sections de ligne Aix-en-Provence / Manosque soit exploré.

Recommandation R1 (SNCF, RFF) : établir un état de santé des soudures aluminothermiques en file haute de courbe, pour les zones de LRS entre Aix-en-Provence et Manosque, limité aux tronçons identifiés (du pk 361,850 au pk 345,495 et du pk 345,495 au pk 347,266). La méthode d'inspection sera explicitée: examen visuel du dessous du patin par un système approprié ou examen du patin du rail par sondage par ultrasons.

Cette campagne d'inspection doit permettre de disposer d'un état de santé précis des soudures statistiquement significatif sur ces tronçons pour estimer le caractère isolé ou non du défaut constaté au pk 365,848, et le cas échéant, intervenir en anticipant le remplacement des rails des zones incriminées.

Le cas des LRS de la voie entre Aix-en-Provence et Manosque peut probablement se retrouver sur d'autres lignes du réseau ferré national ; une action de surveillance préventive pourrait permettre de prévenir des défaillances semblables à la rupture de soudure de Pertuis du 9 novembre 2007.

Recommandation R2 (SNCF, RFF) : au travers du Retour d'expérience annuel des ruptures de rail, définir sur les sections de ligne du Réseau Ferré National présentant potentiellement des risques similaires (même contexte qu'à Pertuis), des indicateurs (type taux de ruptures au km) pertinents permettant de faire émerger les tronçons nécessitant la réalisation d'un état de santé des soudures de rail selon la procédure fixée par la recommandation R1 (ou procédure équivalente).

Comme nous l'avons vu précédemment, l'âge moyen des rails du réseau ferré national est important (32,5 ans) et le nombre de soudures en voie avoisine 1,8 million d'unités. La gestion d'un tel patrimoine nécessiterait de disposer de bases de retour d'expérience bien fournies pour réaliser des analyses suffisamment fines. En ce qui concerne les soudures de rail, il pourrait sembler utile de connaître statistiquement la répartition des durées de vie par type technologique de réalisation et par catégorie de ligne, en liaison avec d'autres paramètres liés à la nature de la ligne et au trafic supporté.

A ce jour, une telle base d'information n'existe pas et il semble difficile de la constituer dans des délais et à un coût raisonnable. Il est cependant nécessaire de réaliser les actions correctives de surveillance et de maintenance du patrimoine rail. En conséquence, nous nous limitons à suggérer que les taux de rupture en voie des LRS de ce type de ligne soient surveillés sur des périodes d'une durée à définir en comparaison des ratios nationaux qui sont d'un bon niveau.

Remarque relative à la destruction des blochets des traverses bi-blocs : les spécialistes affirment que si le traverselage encadrant la soudure (qui s'est rompue) avait été constitué de traverses en bois, celles-ci auraient résisté aux martelages contre le ballast et par le patin du rail. On pourrait en déduire qu'une façon de réduire le risque serait de faire encadrer toute soudure de rail en zone de LRS par des traverses bois, comme cela se pratique pour le platelage sous certains appareils de dilatation. Or la voie comporte de nombreuses soudures de rail en plein barre, correspondant à des retraits de défauts ponctuel (rappel : il existe en voie plus de 1,8 millions de soudure) ; le fait de devoir encadrer toute soudure de rail par des traverses en bois reviendrait à bannir les traverses modernes en béton, monoblocs ou bi-blocs, des voies modernes.

En l'état actuel des investigations, il semble difficile de proposer une quelconque recommandation spécifique aux composants de la voie : rail, traverse, ballast, attaches, hormis qu'il est logique de conduire une démarche de progrès continu dans l'élaboration des constituants de la voie et des procédés de soudures des rails.

6.2- Aptitude des conducteurs à détecter certains défauts de voie

Le conducteur est confronté le premier à la réalité de l'infrastructure (voie, ouvrages d'art, signalisation, caténaires, PN,) au cours de la circulation de son train. Il est logique et les référentiels de conduite le prévoient, qu'il réagisse à certaines anomalies qu'il ressent ou détecte et transmette l'information le mieux et le plus vite possible vers les services concernés.

Le référentiel conduite TT 0516 (« anomalies, incidents, accidents »), article F.11.02, définit la conduite à tenir lorsque le conducteur est confronté à de telles situations (se reporter au

paragraphe 4.3).

La Direction de la Traction (SNCF) développe l'installation de simulateurs de conduite dans les centres de formation Traction. Ces simulateurs présentent l'intérêt de placer le conducteur dans une situation quasiment semblable à la réalité, celui-ci étant à poste fixe, sous l'assistance du moniteur qui déroule le programme, note les réactions du conducteur et l'interroge aux moments opportuns.

Le simulateur de conduite possède la fonctionnalité « choc anormal » pour que le conducteur réagisse en appliquant complètement la procédure prévue :

- arrêt du train,
- protection de son train,
- protection de la voie contiguë,
- visite de la voie,
- information de l'agent circulation sur l'évènement, en donnant une information fiable sur le pk de survenue de l'évènement.

Le son émis dans la cabine du simulateur est différent, selon qu'il s'agit du « choc anormal » ou du « pétard » (son plus intense) qui nécessite l'arrêt d'urgence.

Comme l'indique le cahier des charges national (formation des CRML – TT 0660), il s'agit d'être capable de gérer une situation rare et exceptionnelle concernant une anomalie d'infrastructure, en déployant correctement une procédure d'alerte des gestionnaires de la circulation des trains et d'information des responsables de l'état de l'infrastructure. Il ne s'agit pas de former l'ouïe des conducteurs à la reconnaissance des sons, notamment de distinguer le son émis par un rail cassé à la différence du bruit lié au passage sur un joint de rail d'une voie équipée de barres normales.

Recommandation R3 (RFF) : réaliser une étude de faisabilité d'un catalogue de sons représentatifs d'un « choc anormal » afin d'exercer l'oreille et le ressenti des conducteurs des différentes entreprises ferroviaires soumis à une telle situation (perception du son émis en fonction de la lacune du rail, de la charge à l'essieu de l'engin moteur et de la nature de cet engin moteur, de la vitesse de circulation).

Sans qu'une oreille musicale soit exigée du conducteur, les sons auditionnés se répartiraient selon le catalogue suivant donné à titre d'exemple (chaque type de son est symbolisé par une lettre) :

<i>Type d'engin moteur</i>	<i>Bruit de référence sur joint de rail en barres normales (j ≤ 23 mm)</i>	<i>Son sur lacune ≥ 40 mm</i>	<i>Son sur lacune ≥ 40 mm</i>	<i>Son sur lacune ≥ 40 mm</i>
		<i>Vitesse basse</i>	<i>Vitesse moyenne</i>	<i>Vitesse élevée</i>
Locomotive 67 400 (ou engin d'une charge à l'essieu équivalente – 22,5 tonnes/essieu)	a	b	c	d
Automoteur X-TER	e	f	g	h
Automoteur AGC	i	j	k	l
Autre engin caractéristique	m	n	o	p

Ce catalogue de sons est délicat à mettre au point ; il semblerait probablement pertinent de confier cette étude à la Direction de la Recherche et de la Technologie de la SNCF, ou toute autre entité spécialisée en mesures acoustiques. Le caractère pédagogique de ce catalogue de sons devra

être validé par la Direction métier gérant les conducteurs de trains.

Après validation, ce catalogue de bruits causés par des lacunes de rail pourra être inclus dans les programmes de formation des conducteurs des autres entreprises ferroviaires.

7- Conclusions

7.1- Identification des causes et facteurs associés ayant concouru à l'accident

L'accident de Pertuis s'est produit alors que rien ne laissait présager un tel évènement, compte tenu de la qualité de la voie dans la zone concernée.

La cause directe immédiate est la rupture, non détectée, d'une soudure aluminothermique de rail dans une zone de LRS.

Les facteurs causaux suivants ont joué un rôle dans l'absence de détection de cette rupture:

- cette ligne n'est pas équipée de circuits de voie.
- la détection des fissures sous le patin du rail est quasiment impossible à détecter par les engins d'auscultation des rails par ultrasons.
- la détection d'une rupture de rail par les conducteurs se révèle difficile. Dans le cas présent, plusieurs conducteurs ont circulé sur cette rupture en ne s'apercevant de rien ; le contexte de la voie dans cette zone, par une fréquente alternance des portions de voie en LRS et en barre normales ne donne pas aux conducteurs une référence auditive stable.

Par ailleurs, la fréquence des ruptures de soudures aluminothermiques sur cette ligne apparaît très anormale, beaucoup plus élevée que la moyenne nationale.

7.2- Rappel des recommandations

La section de ligne Aix-en-Provence / Manosque ayant enregistré sur deux zones de LRS plusieurs ruptures de soudures aluminothermiques dans un intervalle de temps réduit (3,5 ans et 4,5 ans) dans un espace réduit (5,4 km et 1,7 km), des investigations complémentaires sont à mener pour dresser la carte de santé des autres soudures en zone de LRS, en file haute de rail en courbe.

Le cas des autres lignes du réseau ferré national présentant les mêmes caractéristiques sera examiné (ligne sans circuit de voie, zone de LRS sur traverses béton, en courbe et pour la file haute du rail).

La non détection, par les conducteurs, de la lacune apparue après la rupture de la soudure, est un sujet de préoccupation, car il est probable que plus d'un conducteur a circulé sur cette avarie qui avait une importance notable. Pour améliorer les capacités de détection par les conducteurs de telles avaries, il est souhaitable de tester auprès des conducteurs en entraînement sur les simulateurs de conduite, un catalogue de sons représentatif de diverses lacunes de voie et pour divers types d'engins moteurs conduits.

Recommandation R1 (SNCF, RFF) : établir un état de santé des soudures aluminothermiques en file haute de courbe, pour les zones de LRS entre Aix-en-Provence et Manosque, limité aux tronçons identifiés (du pk 361,850 au pk 345,495 et du pk 345,495 au pk 347,266). La méthode d'inspection sera explicitée: examen visuel du dessous du patin par un système approprié ou examen du patin du rail par sondage par ultrasons.

Recommandation R2 (SNCF, RFF) : au travers du Retour d'expérience annuel des ruptures de rail, définir sur les sections de ligne du Réseau Ferré National présentant potentiellement des risques similaires (même contexte qu'à Pertuis), des indicateurs (type taux de ruptures au km) pertinents permettant de faire émerger les tronçons nécessitant la réalisation d'un état de santé des soudures de rail selon la procédure fixée par la recommandation R1 (ou procédure équivalente).

Recommandation R3 (RFF) : réaliser une étude de faisabilité d'un catalogue de sons

représentatifs d'un « choc anormal » afin d'exercer l'oreille et le ressenti des conducteurs des différentes entreprises ferroviaires soumis à une telle situation (perception du son émis émis en fonction de la lacune du rail, de la charge à l'essieu de l'engin moteur et de la nature de cet engin moteur, de la vitesse de circulation).

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.

Annexe 2 : Photo du déraillement.

Annexe 3 : Carte ferroviaire.

Annexe 4 : Le rail et ses attaches sur le blochet de la traverse.

Annexe 5 : Photos du rail cassé.

annexe 5-1 : rail cassé et sa lacune.

Annexe 5-2 : about maté côté Manosque.

Annexe 6 : Déformation de la voie

annexe 6-1 : traverses détruites de part et d'autre de la cassure.

annexe 6-2 : état de la déformation de la voie.

Annexe 7 : Relevé de la géométrie de la voie après le déraillement.

Annexe 8 : Enregistrement Mauzin du 30 octobre 2007.

Annexe 9 : Analyse de la fracture du rail.

Annexe 10 : Efficacité du serrage des attaches.

Annexe 11 : Profil du champignon du rail.

Annexe 12 : Relevé d'usure du rail.

Annexe 13 : Traverses béton bi-bloc retirées de la voie dans la zone du déraillement.

Annexe 14 : Localisation des ruptures de rail, des signalements par les conducteurs et des zones en LRS.

Annexe 15: Programme de maintenance préventive de la voie dans la zone Aix-en-Provence / Manosque.

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT
ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES

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

Paris, le 19 novembre 2007

BEA-TT 2007 - 015

Affaire suivie par :
Alain BERNHEIM
Tél. : 01 40 81 39 51 – Fax : 01 40 81 21 50
Courriel : alain.bernheim@equipement.gouv.fr

DECISION

Le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre ;

Vu la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 modifiée 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 modifié relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

Vu le décret n° 2006-1279 du 19 octobre 2006 relatif à la sécurité des circulations ferroviaires et à l'interopérabilité du système ferroviaire ;

Vu les circonstances de l'accident survenu sur la commune de Pertuis (Vaucluse), le 9 novembre 2007 ;

DECIDE

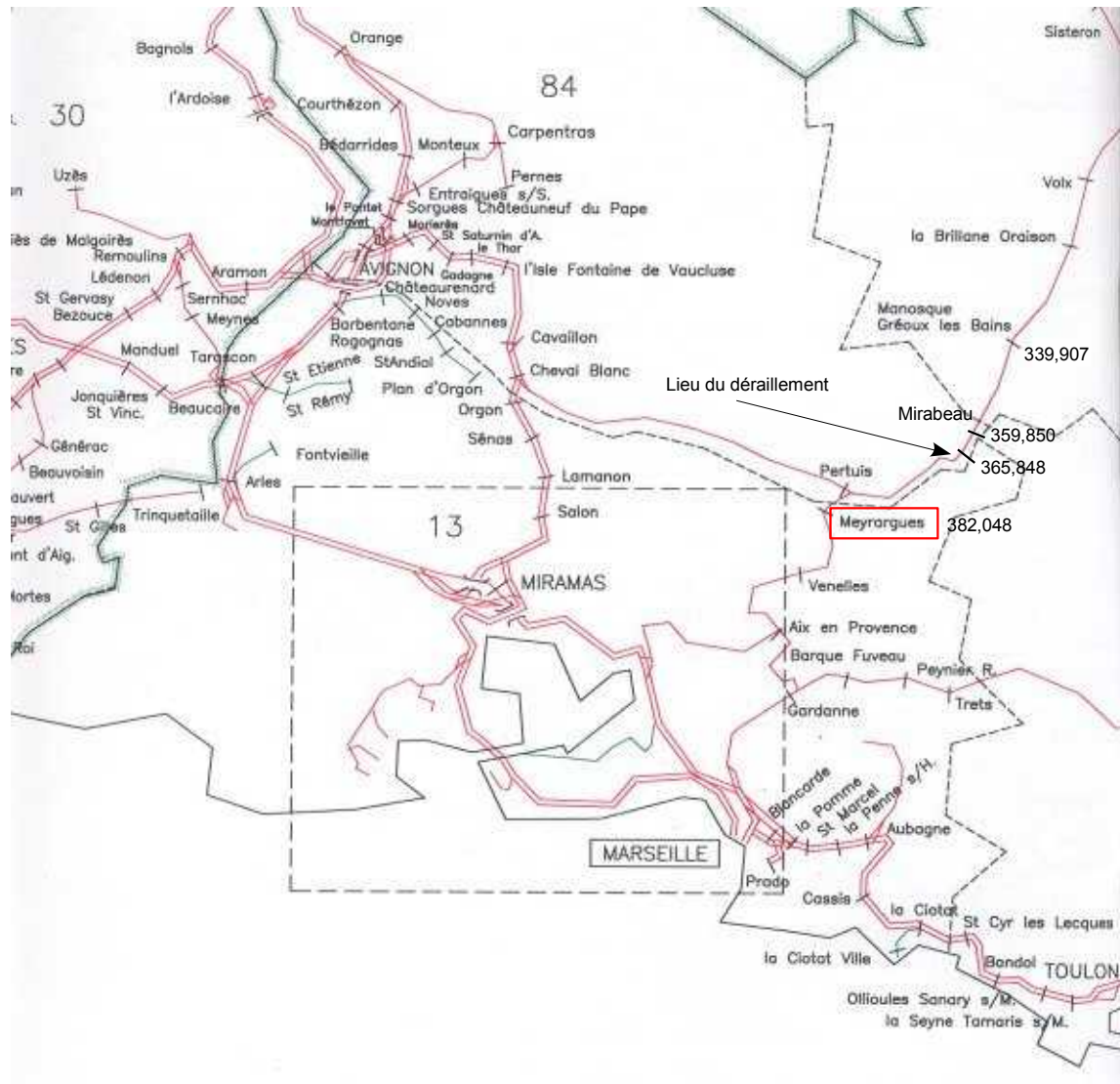
Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier susvisée, est ouverte concernant le déraillement du TER 17417 sur la commune de Pertuis (Vaucluse), survenu le 9 novembre 2007.

Jean Gérard KOENIG

Annexe 2: Photo du déraillement



Annexe 3 : Carte ferroviaire



Annexe 4 : Le rail et ses attaches sur le blochet de la traverse



Annexe 5 : Photos du rail cassé
Annexe 5-1 : Rail cassé et sa lacune



Annexe 5-2 : About maté côté Manosque



Annexe 6 : Déformation de la voie
Annexe 6-1 : Traverses détruites de part et d'autre de la cassure



Annexe 6-2 : Etat de la déformation de la voie



Annexe 7 : Relevé de la géométrie de la voie après le déraillement

Géométrie de la voie

voie :GM

PK :365,848

Relevé effectué le :10 11 2007

par Mr :Bossé

La rupture transversale de soudure a eu lieu entre la traverse n° 20 et 21 / danse estimé car impossible de la mesurer.

borne

Numéro Traverses

danse

File 1

File 2

danse

118

1

116

2

115

3

115

4

115

5

115

6

116

7

117

8

117

9

117

10

117

11

118

12

118

13

119

14

119

15

118

16

116

17

114

117

18

111

19

106

5

20

94

15

21

102

15

22

107

5

23

111

24

114

25

115

26

118

27

119

28

120

29

120

30

120

31

120

32

120

33

118

34

118

116

35

Coté Meyragues

tombée du boudin

Début de la montée du boudin sur le rail

Traverse explosée (vide entre le rail et la traverse)

Traverse explosée (vide entre le rail et la traverse)

Coté Manosques

NTC

116

115

115

115

115

115

116

117

117

117

117

117

117

118

118

119

119

119

118

116

114

111

101

79

87

102

111

114

114

115

118

119

120

120

120

120

118

118

118

0

Gauche sur 3 m

0

2

2

2

2

2

2

1

2

2

1

2

4

8

18

39

29

12

0

13

36

31

17

9

6

5

2

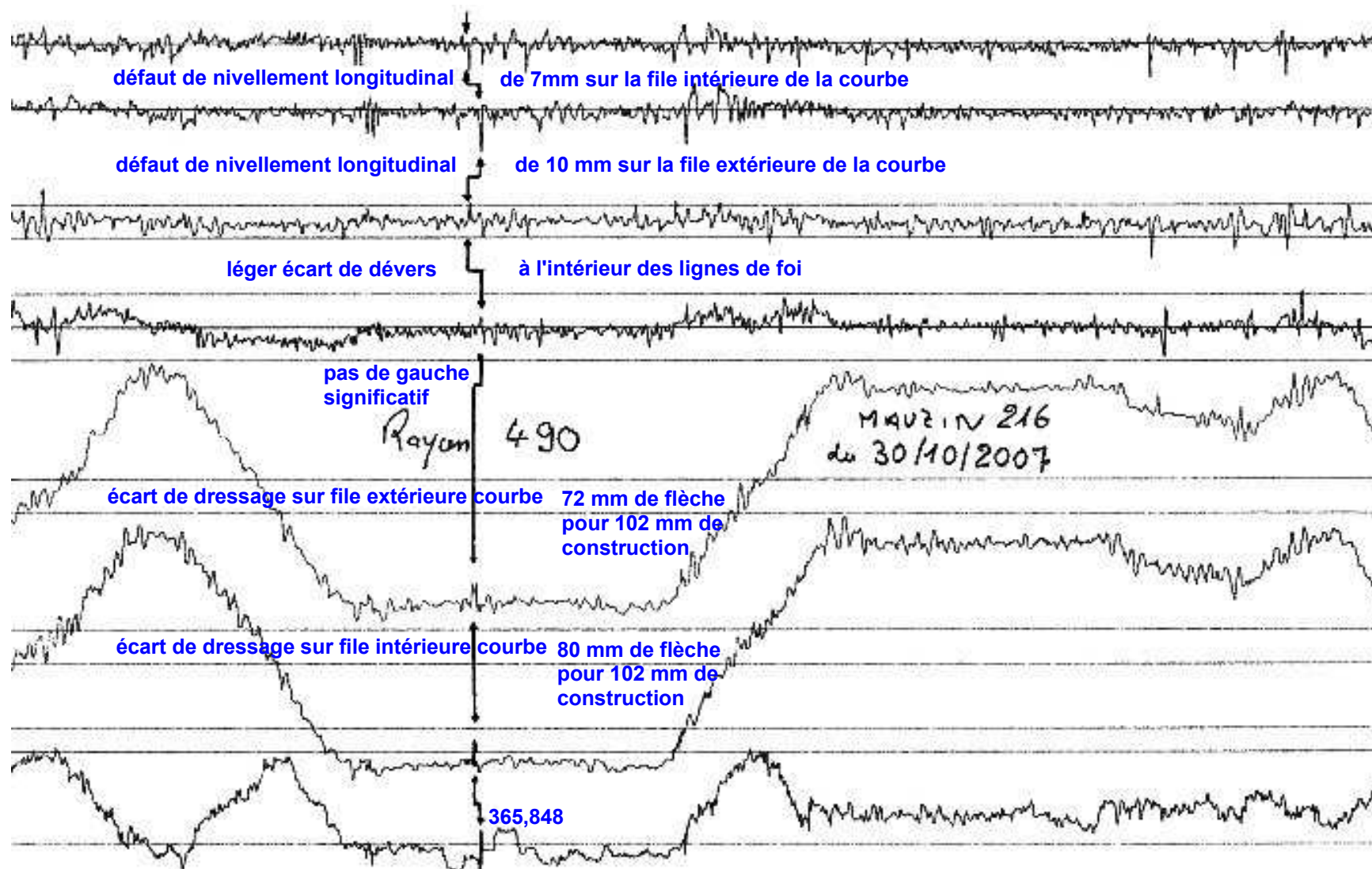
1

2

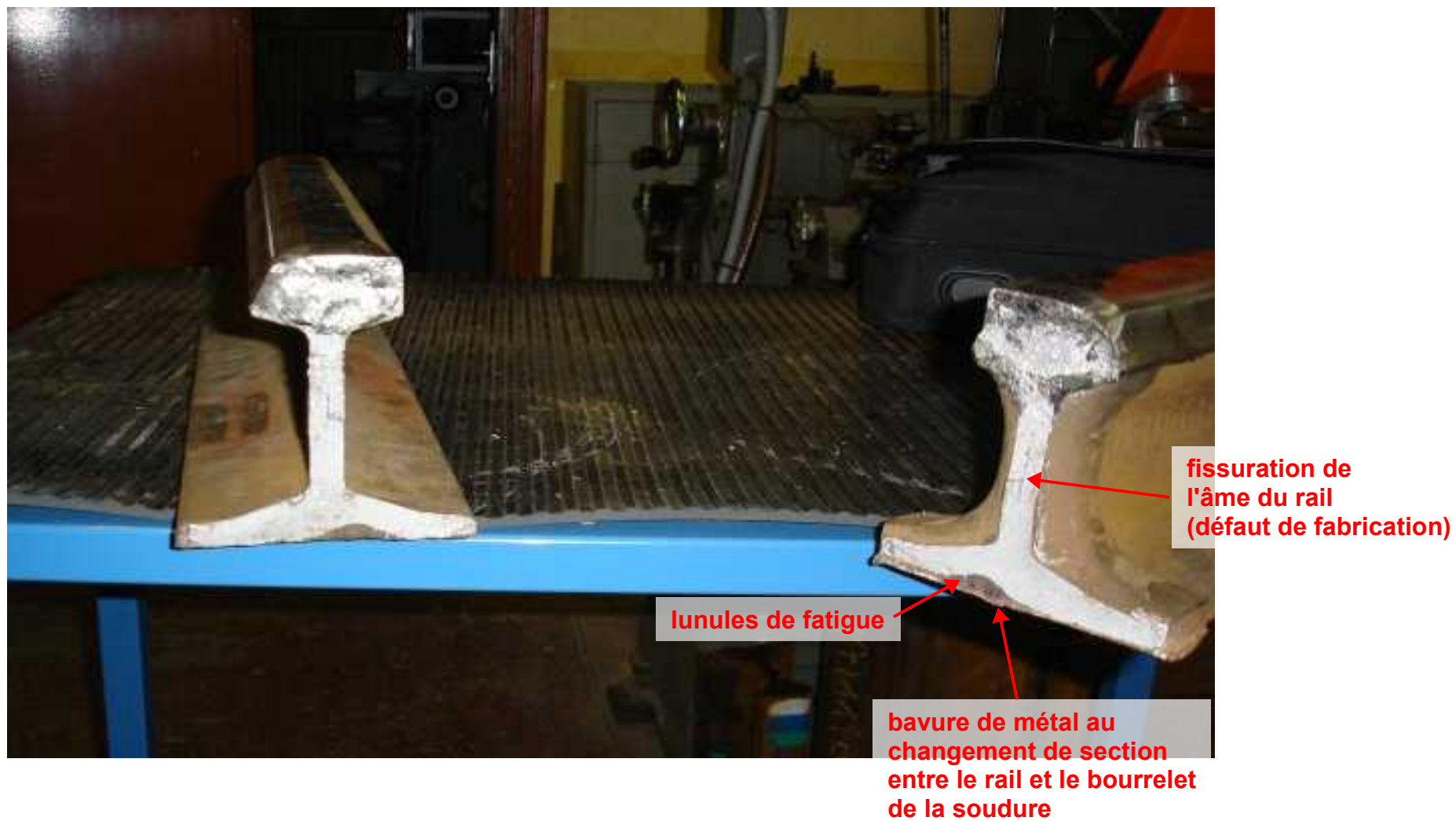
2

<

Annexe 8 : Enregistrement Mauzin du 30 octobre 2007



Annexe 9 : Analyse de la fracture du rail



Annexe 10 : Efficacité du serrage des attaches

Prospection de l'efficacité du serrage des attaches sur lignes équipées en rail Vignole ☐ VD 18... ☐ Mi-cycle VD ☐ Autres ☐

Ligne de Grenoble à Marsaille Gr UIC 6 Vitesse 165 Code géo. 905000 Voie Voie District Secteur Aix Brigade de Pertuis

PK de la zone de 200 m Du PK : Au PK :
 PK des 15 traverses de la prospection Du PK : 366,160 Au PK : 366,180

Plancher Bois indigène ☐ Bois exotique ☐ Béton ☒ Mixte ☐
 Rayon 4,90 m Rail UIC 33
 Nbre d'attaches nécessaires par tête : 2 ☒ 3 ☐
 A.R. ☐ A.E. ☒ Mix. 1/3-2/3 ☐ Autre ☐ A.S. ☐ S.S. ☒

FILES		TRAVERSES (1)															Nombre d'attaches				%	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Nécessaire	S+1	I	S+1	I	
FD	Ext.	10	2	10	0	18	0	17	2	7	4	12	10	8	12	12	30	8	0	27	0	
	Int.	8	12	2	7	0	0	0	13	2	0	10	21	0	0	0						
FD	Int.	20	24	18	12	22	30	0	15	22	0	0	0	0	0	0	30	15	0	50	0	
	Ext.	22	16	8	30	10	20	22	18	18	15	12	8	12	5	20						

Quantité	%

Quantité	%

CLASSEMENT DE LA ZONE (2)
 Zone non retenue ☐ VA ☐ VI ☒ VR ☐

Si la zone est classée VI ou VR : prospection de l'état des semelles sur 15 traverses non consécutives par zone de 200 m.

Nombre de semelles HS :

Si le nombre de semelles HS est inférieur ou égal à 9 : RAS.
 Si le nombre de semelles HS est supérieur à 9 : remplacement de la totalité.

Si la zone est classée VA, VI ou VR : prospection des semelles déplacées. (3)

Nombre de semelles déplacées / 200 m	
Nombre de semelles sur 200 m	
% semelles déplacées / 200 m	

(1) Pour chaque attache, indiquer l'état de l'attache ou la valeur du jeu J1 dans la case correspondante (exemples au verso).
 Dans le cas de 3 attaches par file, tracer une diagonale du côté où il y a 2 attaches. ☒

(2)

	Si UIC 1 & 8 et 7 & 9 AV > 100 km/h	Si UIC 7 & 8 AV < 100 km/h
VA	20 % < S+1 ≤ 30 %	25 % < S+1 ≤ 35 %
VI	S+1 > 30 %	S+1 > 35 %

Pour V < 40, se reporter à la norme.

(3) Une semelle est considérée comme "déplacée" si elle dépasse :
 - en pose bois : → de plus de 20 mm le bord d'une traverse sans selle,
 → de plus de 40 mm le bord d'une selle.
 - en pose béton de plus de 20 mm le bord de la traverse

Relevé effectué le 13/11/2007 par M.
 Classement de la zone validé par le CDT : M.

Prospection de l'efficacité du serrage des attaches sur lignes équipées en rail Vignole ☐ VD 18..... ☐ MI-cycle VD ☒ Autres

Ligne : **Grenoble** à **Marseille** Gr UIC : **6** Vitesse : **165** Code géo. : **905000** Voie : **11** District : **Secteur Aix** Brigade de : **Pertuis**

PK de la zone de 200 m : Du PK : Au PK :
 PK des 15 traverses de la prospection : Du PK : **365,800** Au PK : **365,810**

Plancher : Bois indigène ☐ Bois exotique ☐ Béton V&U ☒ Mixte ☐
 Rayon : **490** m Rail : **1133**
 Nbre d'attaches nécessaire par tête : 2 ☒ 3 ☐
 A.R. ☐ A.E. ☒ Mix. 1/3-2/3 ☐ Autre ☐
 A.S. ☐ S.S. ☒

RILES	TRAVERSES (1)															Nombre d'attaches				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Nécess. Min	S+I	I	S+I	I
Ext.	5	28	24	21	10	4	13	10	10	8	4	11	6	11	1	30	8	0	27	0
Int.	8	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0					
Ext.	14	18	20	26	9	9	0	8	0	7	11	8	6	10	16	30	6	0	20	0
Int.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0					

Consolidation : Quantité %
 Délardage : Quantité %

CLASSEMENT DE LA ZONE (2)
 Zone non retenue ☐ VA ☒ VI ☐ VR ☐

Si la zone est classée VI ou VR : prospection de l'état des semelles sur 15 traverses non consécutives par zone de 200 m.
 Nombre de semelles HS :
 Si le nombre de semelles HS est inférieur ou égal à 9 : PAS.
 Si le nombre de semelles HS est supérieur à 9 : remplacement de la totalité.

Si la zone est classée VA, VI ou VR : prospection des semelles déplacées. (3)
 Nombre de semelles déplacées / 200 m :
 Nombre de semelles sur 200 m :
 % semelles déplacées / 200 m :

(1) Pour chaque attache, indiquer l'état de l'attache ou la valeur du jeu J1 dans la case correspondante (exemples au verso).
 Dans le cas de 3 attaches par file, tracer une diagonale du côté où il y a 2 attaches. ☒

(2)

	Gr UIC 1 à 8 et 7 à 9 AV > 100 km/h	Gr UIC 7 à 9 AV < 100 km/h
VA	20 % < S+I < 30 %	25 % < S+I < 35 %
VI	S+I > 30 %	S+I > 35 %

Pour V < 40, se reporter à la norme.

(3) Une semelle est considérée comme "déplacée" si elle dépasse :
 - en pose bois : de plus de 20 mm le bord d'une traverse sans saie,
 - de plus de 40 mm le bord d'une saie.
 - en pose béton de plus de 20 mm le bord de la traverse.

Relève effectué le **13.11.2007** par M.
 Classement de la zone validé par le CDT : M.

Annexe 11 : Profil du champignon du rail



Annexe 12 : Relevé d'usure du rail

EVEN Marseille Côte Varoise
District Aix en Provence

RELEVÉ D'USURE DES RAILS DE VP

U33

Ligne de: **GRENOBLE**
à **MARSEILLE**
n° ligne: **905 000**
Groupe UIC: **6**
Vitesse:
Type de ligne: (1,2,3) **2**

Relevé fait par: **COVELLI.P**
date: **16 aout 2007**

courbe

Saisie faite par: **MOHRING.B** du km **365,618** à Km **366,118**

date: **lundi 10 septembre 2007**

Contrôle au Calibre 2: D / trait repère Dessous le contact

L / trait repère dessous le contact mais Limite

Caractéristiques Nominales des profils de rails et seuils d'usure admissibles (en mm)

Caractéristiques Nominale des profils de rails et seuils d'usure admissibles (en mm)															
Rail	Caractéristiques du rail				Usure du champignon (U)				Réduction de l'âme (Ra)						
	haut. (H)	ch. (C)	âme (Ea)		VA	VI	VR		VA	VI	VR				
U33	145	62	15		9	11	12		3	4	5				
	Réduction du patin (Rp)														
	VA					VI					VR				
	A	B	C/D	E	B+E	A	B	C/D	E	B+E	A	B	C/D	E	B+E
	5	4	4	3	5	6	5	5	4	6	7	6	6	6	7

Repères		Files(2)		Usure du champignon(U)						Ame(Ra)		Réduction du patin (Rp)								Classements	
PK du relevé (voie courante)	Repère N°(tunnel)	Droite	Gauche	Haute	Basse	Hauteur entre appuis	Usure verticale Uv=H-h1	Largeur du champ	Usure latérale Ul=C-c	Calibre 2 (si Ul>8mm)	Usure totale U=Ul+0,6Uv	Epaisseur de l'âme	Réduction de l'âme Ra=Ea-e	Hauteur sur appui (3)	Attaches élastiques	Chapeaux des tirefonds	Collets des tirefonds Branches inf des cr	Epaul des selles	Empreintes des selles E=h1-h2		
365,618	92		X	X		140,00	5,00	63,00	-1,00		2,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	93		X	X		140,00	5,00	63,00	-1,00		2,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	94		X	X		141,00	4,00	64,00	-2,00		0,40	15,00	0,00	141,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	95	X		X		140,00	5,00	64,00	-2,00		1,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	96	X		X		141,00	4,00	63,00	-1,00		1,40	15,00	0,00	141,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	97	X		X		140,00	5,00	63,00	-1,00		2,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	98	X		X		139,00	6,00	63,00	-1,00		2,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	99	X		X		140,00	5,00	62,00	0,00		3,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	100	X		X		140,00	5,00	60,00	2,00		5,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	101	X		X		140,00	5,00	59,00	3,00		6,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	102	X		X		138,00	7,00	58,00	4,00		8,20	15,00	0,00	138,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	103	X		X		138,00	7,00	57,00	5,00		9,20	15,00	0,00	138,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	104	X		X		138,00	7,00	56,00	6,00		10,20	15,00	0,00	138,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	105	X		X		140,00	5,00	57,00	5,00		8,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	106	X		X		140,00	5,00	56,00	6,00		9,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	107	X		X		139,00	6,00	55,00	7,00		10,60	13,00	2,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	108	X		X		139,00	6,00	56,00	6,00		9,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	109	X		X		135,00	10,00	56,00	6,00		12,00	15,00	0,00	135,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VI
	110	X		X		136,00	9,00	56,00	6,00		11,40	15,00	0,00	136,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VI
	111	X		X		138,00	7,00	57,00	5,00		9,20	15,00	0,00	138,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	112	X		X		140,00	5,00	57,00	5,00		8,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	113	X		X		140,00	5,00	55,00	7,00		10,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	114	X		X		140,00	5,00	56,00	6,00		9,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	115	X		X		140,00	5,00	55,00	7,00		10,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	116	X		X		140,00	5,00	57,00	5,00		8,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	117	X		X		140,00	5,00	57,00	5,00		8,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	118	X		X		140,00	5,00	56,00	6,00		9,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	119	X		X		140,00	5,00	60,00	2,00		5,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	120	X		X		139,00	6,00	59,00	3,00		6,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA

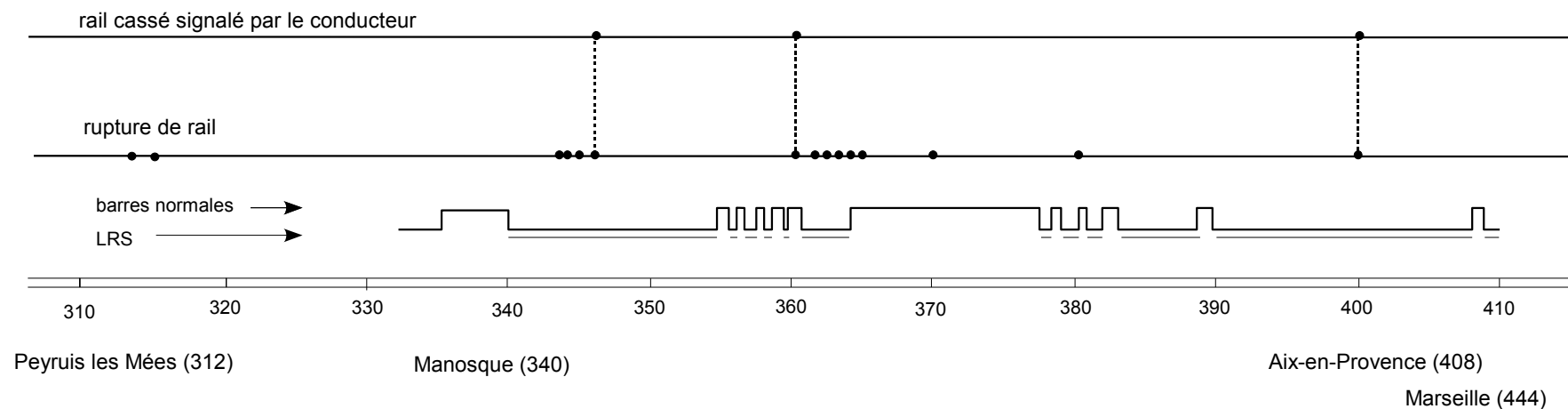
	121	X	X		140,00	5,00	58,00	4,00		7,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	122	X	X		139,00	6,00	58,00	4,00		7,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	123	X	X		139,00	6,00	58,00	4,00		7,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	124	X	X		139,00	6,00	55,00	7,00		10,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	125	X	X		140,00	5,00	56,00	6,00		9,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	126	X	X		139,00	6,00	56,00	6,00		9,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	127	X	X		140,00	5,00	55,00	7,00		10,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	128	X	X		141,00	4,00	56,00	6,00		8,40	15,00	0,00	141,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	129	X	X		139,00	6,00	55,00	7,00		10,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	130	X	X		139,00	6,00	56,00	6,00		9,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	VA
	131	X	X		139,00	6,00	57,00	5,00		8,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	132	X	X		139,00	6,00	57,00	5,00		8,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	133	X	X		139,00	6,00	57,00	5,00		8,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	134	X	X		139,00	6,00	58,00	4,00		7,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	135	X	X		140,00	5,00	56,00	6,00		9,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	136	X	X		141,00	4,00	57,00	5,00		7,40	15,00	0,00	141,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	137	X	X		140,00	5,00	58,00	4,00		7,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	138	X	X		140,00	5,00	58,00	4,00		7,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	139	X	X		141,00	4,00	59,00	3,00		5,40	15,00	0,00	141,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	140	X	X		140,00	5,00	63,00	-1,00		2,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	141	X	X		140,00	5,00	64,00	-2,00		1,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	142	X	X		140,00	5,00	64,00	-2,00		1,00	15,00	0,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	143	X	X		139,00	6,00	63,00	-1,00		2,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	144	X	X		139,00	6,00	63,00	-1,00		2,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	145		X	X	139,00	6,00	63,00	-1,00		2,60	15,00	0,00	139,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
	146		X	X	140,00	5,00	64,00	-2,00		1,00	14,00	1,00	140,00	0	0	0	0	0,00	0,00	<VA
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			
											15,00	0,00		0	0	0	0			

USURE LA PLUS IMPORTANTE	12,00		2,00		0	0	0	0	0,00
--------------------------	-------	--	------	--	---	---	---	---	------

Annexe 13 : Traverses béton bi-bloc retirées de la voie dans la zone de déraillement



Annexe 14 : Localisation des ruptures de rail, des signalements par les conducteurs et des zones LRS



Sur Aix-en-Provence / Manosque, période du 6 février 2002 au 1er janvier 2008, localisation des ruptures de rail (principalement en zones LRS) dont celles signalées par les conducteurs

Annexe : 15 Programme de maintenance préventive de la voie dans la zone Aix-en-Provence / Manosque

ORIGINAL

REGION DE MARSEILLE
EVENEMENT MARSEILLE COTE VAROISE
DE MARSEILLE St CHARLES
(Secteur Aix en Pce)

LIGNE												VU Rac de PERTUIS 90308	
VOIE													
GR UIC / VITESSE		6 / 100										7AV / 90	
BRIGADE		PERTUIS											
ARMEMENT	LRS / BN	33D		LRS 20L		33D 3x18n		LRS 3x18n		33D		3x18n	
	Plancher/Attaches (voie courante uniquement)	Tb AR		Tb AR		Tb AE +42% TBA		TBA RN		Tb AR +44% TBA		TBA RN	
	Zones Appareils	C	32	Minobou						25	26		
ANNEE DE POSE (voie courante uniquement)						1959		1986		1959		1986	
PK													
souterrain													

MAINTENANCE PREVENTIVE	CONDITIONNELLE	SYSTEMATIQUE	Vérifications sur le système d'attaches : - Efficacité serrage - et sennelles le cas échéant - Elasticité	Joints ordinaires : - Visite (D) et graissage avec démontage - Graissage sans démontage Joints Isolants : - Entretien avec démontage	Années de recherche de l'information Années Intervention	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
						1999 A Entri 89% - Ignini B - sans 2000 2001 2002 2003 2004 2005 VISTA 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 VISTA Entri 95% - Ignini 0.87 - sans 2000 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015																

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@developpement-
durable.gouv.fr

web :

www.bea-tt.equipement.gouv.fr