

Rapport d'enquête technique
sur le déraillement du train de fret n°72187
survenu le 13 juin 2006
à La Ferté sur Chiers (08)

septembre 2007

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

Affaire n°BEATT-2006-006

**Rapport d'enquête technique
sur le déraillement du train de fret n°72187
survenu le 13 juin 2006 à La Ferté sur Chiers (08)**

Bordereau documentaire

Organisme (s) commanditaire (s) : Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables ; MEDAD

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 fret n°72187 survenu le 13 juin 2006 à La Ferté sur Chiers (08)

N°ISRN : EQ-BEATT—07-3--FR

Proposition de mots-clés : déraillement, wagon, interaction voie-véhicule, transport ferroviaire de marchandise

Sommaire

Glossaire.....	6
Résumé.....	9
1- Engagement de l'enquête.....	11
2- Constats immédiats et organisation de l'enquête.....	13
2.1- Circonstances de l'accident.....	13
2.2- Secours.....	13
2.3- Conséquences humaines et matérielles.....	13
2.3.1- Personnes blessées.....	13
2.3.2- Dégâts matériels.....	13
2.3.3- Conséquences d'exploitation.....	14
2.4- Organisation de l'enquête technique.....	14
3- Éléments de contexte.....	17
3.1- « L'artère Nord-Est ».....	17
3.2- L'infrastructure.....	17
3.3- Le train de marchandises 72 187 « Dunkerque-Dieulouard ».....	17
3.4- Le wagon impliqué.....	17
4- Compte-rendu des investigations.....	19
4.1- Résumé des témoignages.....	19
4.2- Formation et conduite du train.....	19
4.2.1- Formation du train.....	19
4.2.2- Analyse des enregistrements.....	19
4.3- Chargement du minerai.....	19
4.4- Réalisation de la maintenance du wagon.....	20
4.4.1- Révisions du wagon.....	20
4.4.2- Maintenance courante subie par le wagon.....	21
4.4.3- Visite et reconnaissance.....	22
4.4.4- Surveillance automatique en ligne.....	22
4.4.5- Conclusion relative à la maintenance du wagon.....	22
4.5- Expertise du wagon.....	22
4.5.1- Etat des essieux.....	23
4.5.2- Expertise du wagon avant démontage (à Montmédy et à Vitry-AEF).....	24
4.5.3- Etat du chargement.....	28
4.5.4- Démontage du wagon et expertise complète à l'atelier de Tergnier (Aisne).....	29
4.5.5- Éléments de comparaison avec les wagons témoins.....	29
4.5.6- Conclusion relative au wagon déraillé.....	30
4.6- Réalisation de la maintenance de la voie.....	30
4.6.1- Historique des opérations de maintenance de la voie.....	30

4.6.2- Etat de graissage de la voie.....	30
4.6.3- Conclusion relative à la maintenance de la voie.....	31
4.7- Expertise de la voie.....	31
4.7.1- Constats relatifs à la voie 1 autour du pk 190,200.....	31
4.7.2- Caractéristiques géométriques de la voie aux abords du pk 190,200.....	32
4.7.3- Conclusion relative à l'état de la géométrie de la voie en regard des normes.....	37
4.8- Etudes de dynamique ferroviaire : modélisation.....	37
4.9- Évènements antérieurs de nature comparable, sur l'artère Nord-Est dans le secteur Ardennes-Meuse.....	39
4.9.1- Chauvency (pk 201,353) le 04 août 1990.....	39
4.9.2- Sedan (pk 158,84) le 11 février 1991.....	39
4.9.3- Liart-Tournes (pk 37,35) le 21 août 1991.....	39
4.9.4- Longuyon (pk 230,62) le 23 avril 1995.....	40
4.9.5- Montmédy (pk 207,225) le 06 mai 1995.....	40
4.10- Mesures prises à la suite de l'accident.....	40
4.10.1- Mesures au niveau régional.....	40
4.10.2- Mesures au niveau national.....	40

5- Déroulement de l'accident..... 41

5.1- La circulation du train.....	41
5.2- Les conditions du déraillement.....	41
5.3- La gestion du déraillement.....	42
5.4- Les conséquences du déraillement.....	43
5.5- Risques encourus.....	43

6- Analyse et orientations préventives..... 45

6.1- Analyse relative à l'état du wagon.....	45
6.2- Analyse relative à la géométrie de la voie.....	46
6.3- Etat de graissage de la voie de l' « artère Nord-Est ».....	48
6.4- Réactivité des acteurs ferroviaires pour limiter les conséquences d'un tel déraillement.....	49

7- Conclusions..... 51

7.1- Identification des causes et facteurs associés ayant concouru à l'accident.....	51
7.2- Rappel des recommandations.....	51

ANNEXES..... 53

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	55
Annexe 2 : Carte ferroviaire régionale.....	56
Annexe 3 : Wagon déraillé en queue du train 72187.....	57
Annexe 4 : Diagramme du wagon 84.87.6551.318-1.....	58
Annexe 5 : Essieu (1-2) avec roue 1 décalée (wagon 6551 318).....	59
Annexe 6 : Etat du chargement, observé à Montmédy.....	60

Annexe 7 : Pesage roue par roue du wagon 84.87.6551.318 par l'Agence d'Essai Ferroviaire.....	61
Annexe 8 : Composition du train 72 187.....	62
Annexe 9 : Vue de la voie 1 dans la zone de montée de la roue sur le rail.....	64
Annexe 10 : Trace du boudin de roue sur le champignon de rail.....	65
Annexe 11 : Coupon du rail de 6 mètres posé en voie en 1999.....	66
Annexe 12 : Station de chargement des wagons en minerai de fer au poste de Dunkerque.....	67
Annexe 13 : Relevé Mauzin de la voie 1, du 29/03/06 dans la zone autour du pk 190,00.....	68
Annexe 14 : Analyse des gauches du relevé Mauzin numérisé (zone de voie 1 autour du pk 190,200).....	70
Annexe 15 : Diagramme des efforts Y/Q roue-rail (extrait du rapport INRETS)..	71
Annexe 16 : Expertise détaillée du wagon 6551 318 à l'atelier de Tergnier.....	72

Glossaire

- **AEF (Agence d'Essai Ferroviaire)** : Entité technique effectuant des prestations dans le domaine ferroviaire pour le compte d'entreprises ferroviaires (dont la SNCF), de constructeurs, d'organismes certificateurs, etc... Ces prestations concernent le matériel roulant ainsi que ses constituants : essais de qualification, essais d'endurance, essais après accidents, recherche et développement, modifications,... L'AEF est reconnu par le comité français d'accréditation.
- **Ame du rail** : partie verticale intermédiaire du rail interposée entre le patin et le champignon.
- **Amortisseur « Lenoir »** : système d'amortissement à friction dont sont équipés les bogies modernes de wagon ; cet amortissement permet de limiter l'amplitude et la durée des oscillations de la suspension du bogie au cours de la marche de celui-ci.
- **Boudin de roue** : partie de la roue qui limite les débattements transversaux de l'essieu dans la voie.
- **Champignon du rail** : partie supérieure du rail sur laquelle roulent les essieux ferroviaires.
- **COGC** : Centre Opérationnel de Gestion des Circulations (désignation antérieure : PC, poste de commandement).
- **Danse (de traverse)** : lorsque le ballast supportant la voie perd ses qualités mécaniques initiales, la traverse s'enfonce verticalement lors du passage de chaque essieu ferroviaire, puis revient à son altitude d'origine.
- **Dressage** : le dressage de la voie caractérise le « parallélisme » des deux files de rail par rapport à l'axe de la voie, que ce soit en alignement ou en courbe ; les défauts de dressage se situent dans le même plan que celui de la voie à l'endroit considéré.
- **Patin du rail** : partie inférieure du rail, élargie, reposant sur la traverse, directement ou par l'intermédiaire d'une selle
- **pk** : point kilométrique de jalonnement de la voie.
- **PN** : Passage à Niveau.
- **RA (wagon)** : Réparation Accidentelle du wagon.
- **RG (wagon)** : Révision Générale du wagon.
- **Rapport Y/Q** : au point de contact roue/rail, les efforts verticaux peuvent être représentés par un vecteur Q et les efforts transversaux par un vecteur Y. Le quotient Y/Q caractérise le rapport des forces qui, s'il est trop important (au voisinage de 1 ou delà) peut faire dérailler l'essieu par montée de la roue sur le rail.
- **Table de roulement (roue)** : partie cônique de la roue qui est en contact avec le rail lors de la marche de l'essieu dans la voie.
- **Titulaire de wagon de particulier** : personne physique ou morale organisant l'exploitation d'un wagon, le propriétaire pouvant généralement être une autre personne physique ou morale.
- **Valeurs d'objectif (voie)** : en application des critères de maintenance de la voie, fourchette de valeurs à respecter lors de la remise en état pour le paramètre faisant l'objet d'une correction.
- **Valeur d'alerte (voie)** : valeur d'un paramètre de la voie à partir de laquelle une surveillance rapprochée de ce paramètre est effectuée.

- **Valeur d'intervention (voie)** : valeur d'un paramètre de la voie qui nécessite une intervention corrective dans un délai déterminé.
- **Valeur de ralentissement (voie)** : valeur atteinte par un paramètre de la voie, qui nécessite une réduction immédiate de la vitesse de circulation des trains, en attendant l'intervention corrective.

Résumé

Le mardi 13 juin 2006, sur la ligne Charleville-Longuyon, le train de minerai de fer 72 187 circulant à la vitesse de 100 km/h, voie 1, de Dunkerque vers Dieulouard (Meurthe et Moselle), déraile du dernier wagon au pk* 190,200 au niveau de la commune de La Ferté/Chiers (Ardennes). L'essieu de tête de ce dernier wagon (d'un train comportant 44 wagons) est monté sur le rail externe, en sortie d'une courbe de 676 mètres de rayon ; au pk 198,700, le bogie déraillé heurte un coupon de rail en dépôt sur la banquette, le projette dans l'axe de la voie en faisant dérailler le bogie arrière du wagon. La queue du train s'immobilise au pk 200,130, après avoir parcouru 9 930 mètres.

L'accident n'a occasionné qu'un seul blessé léger (un agent de maintenance de la voie). La voie 1 est fortement endommagée sur près de 10 km, la voie 2 est partiellement recouverte de ballast ; les installations électriques et de signalisation n'ont pas subi d'avaries. Le montant des dégâts s'élève à plus de 3,5 M€ en janvier 2007. Les conséquences « exploitation » sont importantes du fait de l'interception des deux voies.

En ce qui concerne la voie, aucun défaut nécessitant l'arrêt des trains ou la mise en place de ralentissement dans la zone du déraillement n'a été relevé.

Le wagon (wagon de particulier dont le titulaire* est la société sidérurgique Arcelor), a subi antérieurement une maintenance normale et son expertise n'a fait apparaître aucune anomalie significative de sa géométrie. Le chargement de ce wagon est apparu correctement réparti.

Aucune explication « visuelle » n'apparaissant pour désigner le ou les paramètres en écart entraînant le déraillement, une étude numérique a été engagée auprès de deux intervenants : le Centre d'Ingénierie du Matériel (CIM) de la SNCF et l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS). L'engagement des calculs (logiciel VOCODYM pour le CIM, et logiciel VOCOLIN pour l'INRETS) a pu être réalisé grâce aux résultats de l'expertise géométrique complète du wagon à l'Etablissement de Maintenance du Matériel de Picardie

La cause de ce déraillement apparaît en grande partie liée à l'état de la voie bien que sa géométrie respecte les valeurs normées du référentiel voie. Une mesure continue analogique des paramètres voie (selon les relevés « Mauzin ») fait apparaître, dans la zone précédant le déraillement, cinq défauts répétitifs de dressage de la voie, distants de 20 mètres, dans un raccordement de sortie de courbe dont l'insuffisance de dévers naturel a été accentuée par une pointe de gauche. Un couplage dynamique s'est produit entre le wagon de queue (ne bénéficiant pas d'un serrage arrière de son attelage) et la voie : les excitations transversales périodiques de 20 mètres de longueur d'onde ont fait osciller transversalement le wagon, et ont finalement entraîné une montée du boudin* de la roue au point de gauche maximum (11mm). Par ailleurs, l'état de graissage des rails est apparu insuffisant, ce qui augmente le coefficient de frottement roue-rail et les risques de montée du boudin de roue sur le rail.

Trois recommandations sont formulées par le rapport :

- La SNCF et RFF sont chargées d'élaborer les règles d'intervention sur la voie pour corriger ces situations (reprise du dressage selon des valeurs quantifiées après détection de défauts de dressage répétitifs et périodiques en sortie de courbe).
- Pour ce qui concerne la maintenance des wagons, la SNCF devra améliorer la traçabilité de la détection des jeux insuffisants (et des réparations correspondantes) du système d'amortissement à friction des bogies de la famille Y 25.
- Concernant l'exploitation, la SNCF recherchera une meilleure réactivité de ses opérateurs confrontés à une situation d'urgence par l'utilisation de la radio sol-train et des gestes d'urgences.

* Terme figurant dans le glossaire

1- Engagement de l'enquête

Le mardi 13 juin 2006, à 9 h 57, le dernier wagon (annexe 3) du train de fret 72 187 de la SNCF déraille sur la voie 1 de la section de ligne Charleville-Longuyon, au pk 190,200 (annexe 2) situé sur la commune de La Ferté sur Chiers (département des Ardennes). Il s'agit d'un train entier transportant du minerai de fer depuis Dunkerque jusqu'à Dieulouard (Lorraine).

Un ouvrier d'entretien de la voie est blessé par des projections de ballast et l'infrastructure ferroviaire subit d'importants dégâts.

Le ministre des transports a décidé, sur proposition du directeur du BEA-TT, l'ouverture par celui-ci d'une enquête technique sur ce déraillement.

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 (annexe 1).

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'évènement analysé, et en établissant les recommandations de sécurité utiles.

2- Constats immédiats et organisation de l'enquête

2.1- Circonstances de l'accident

L'accident s'est produit sur la voie 1 de la ligne Charleville-Longuyon, quasiment à la limite des départements des Ardennes et de la Meuse, le mardi 13 juin 2006, à 09 h 57.

Le train concerné est un train de minerai de fer de type « MA 100 », c'est à dire circulant sous le régime de transport des trains de marchandises à vitesse de 100 km/h. Ce train circule avec le numéro de sillon horaire 72 187, de Dunkerque vers Dieulouard en Meurthe et Moselle et présente la particularité d'être classé « train hyper-lourd » du fait de sa masse d'ensemble : 3568 tonnes. Le chargement est réparti dans une rame de 44 wagons équipés de l'attelage renforcé « 135 tonnes » (au lieu de 85 tonnes pour des wagons à attelage normal). La longueur totale du train est de 620 mètres. Deux locomotives modernes (types BB 27 000) en unités multiples sont nécessaires pour la traction de ce train.

Après qu'il ait franchi la gare de Carignan (Ardennes) et alors qu'il se dirige vers la gare de Montmédy (Meuse) à la vitesse de 100 km/h, au point-kilométrique 190,200 en sortie d'une courbe à droite de 676 mètres de rayon, le wagon de queue déraile par montée de la première roue gauche sur le champignon* du rail.

Les conditions météorologiques sont bonnes : le temps est ensoleillé, la température moyenne est de 23,1° C et la température maximale est de 30,2° C.

L'alerte est donnée auprès de l'agent circulation de Carignan une minute après le déraillement par un retraité SNCF et des agents de la voie qui viennent de voir passer le train avec le wagon de queue déraillé, en utilisant le téléphone de secours du passage à niveau n° 31 ; ces mêmes agents « voie » téléphonent au régulateur sous-station pour demander la coupure du courant de traction. Après la coupure effective du courant de traction et un délai d'une minute et huit secondes, le conducteur déclenche le freinage de son train et l'immobilise au pk 200,750 (queue du train au pk 200,130).

Le gabarit de la voie 2 a été engagé sur 1 430 mètres.

2.2- Secours

Pour dégager la voie 1, les deux wagons de queue ont été désaccouplés du train, le reste du train (l'unité multiple de locomotives et 42 wagons) reprenant sa marche de façon autonome. Après relevage du wagon déraillé, les deux derniers wagons ont été acheminés vers une voie de garage de la gare de Montmédy.

2.3- Conséquences humaines et matérielles

2.3.1- Personnes blessées

L'accident n'a occasionné qu'un blessé léger : l'agent d'entretien de la voie, qui a reçu de violentes projections de ballast, a été pris en charge par le SAMU et a subi un arrêt de travail de 34 jours.

2.3.2- Dégâts matériels

La voie a subi des dégâts sur près de 10 kilomètres, entre les pk 190,200 et 200,200. La voie 1 est fortement endommagée ; elle a subi des coups de dressage et de nivellement, des ruptures et des déformations d'entretoises de traverses béton, des ruptures de couvercles de caniveaux, des

* Terme figurant dans le glossaire

ruptures de regards d'entrevoie ; le ballast a été déplacé. La voie 2 a été partiellement recouverte par le ballast déplacé par le wagon déraillé. Les platelages des PN* 31 à 37 sont détériorés. Le montant des dégâts s'élevait en janvier 2007 à plus de 3,5 M€.

Les installations de traction électrique ainsi que celles de signalisation n'ont pas subi de dégâts.

2.3.3- Conséquences d'exploitation

Cet accident a interrompu la circulation sur les deux voies. Les trains TER ont été remplacés par des autobus. Après régalage du ballast, la voie 2 a été rendue à la circulation le 14 juin à 00 h 43 avec une limitation de vitesse à 40 km/h sur 3 kilomètres. Une voie unique temporaire a été organisée sur cette voie 2 de façon à permettre la circulation des trains dans les deux sens.

La circulation sur la voie 1 a été interrompue pendant plus de dix jours, soit jusqu'au 23 juin 2006 à 20 h 54. La vitesse de circulation sur cette voie a été limitée à 40 km/h sur 10 km jusqu'au 10 juillet, ensuite, la vitesse de circulation est restée limitée à 80 km/h entre les pk 190,000 et 190,525.

Les pertes de temps pour les trains ayant circulé sur cette ligne ont été les suivantes :

<i>période</i>	<i>Temps perdu (minutes)</i>
du 13 au 30 juin 2006	17 668
du 1er au 08 juillet 2006	2 588

En outre, du fait de la réduction de capacité de la ligne pendant les travaux de remise en état, de nombreux train de fret ont dû être détournés par d'autres itinéraires, occasionnant des délais supplémentaires d'acheminement.

Le coût économique des pertes de temps subies par les trains ayant emprunté cette ligne est de l'ordre de 0,8 M€, s'ajoutant aux frais de remise en état de l'infrastructure d'environ 3,5 M€.

2.4- Organisation de l'enquête technique

L'enquêteur technique a eu accès à la voie dans la zone comprise entre les pk 189 et 191 et a pu examiner, et faire pratiquer une première série d'analyses du wagon 6551.318 sur voie de débord en gare de Montmédy.

Les installations de chargement de Dunkerque, au quai des Pondéreux, ainsi que l'installation de pesage des trains de Grande-Synthe ont été examinées.

Le wagon en cause, ainsi que le wagon précédent (6552.046), ont fait l'objet des tests à la station d'essais de Vitry/Seine (Agence d'Essai Ferroviaire) ; enfin, le wagon en cause a été expertisé de façon exhaustive pour sa géométrie et sa suspension à l'Etablissement Industriel de Maintenance du Matériel de Picardie (Tergnier-02).

L'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) a été chargé par le BEA-TT de réaliser une étude de simulations de dynamique ferroviaire sur cet accident ; ces résultats ont été analysés et comparés à ceux d'une étude similaire effectuée par le Centre d'Ingénierie du Matériel (CIM) de la SNCF. A cet effet, des mesures complémentaires concernant la voie et le wagon ont été réalisées.

De nombreux contacts ont été établis avec les spécialistes « voie » et « matériel » de la SNCF, au niveau central comme au niveau de la région SNCF de Reims. Réseau Ferré de France a

* Terme figurant dans le glossaire

été associé à toutes les séances de travail.

Une enquête judiciaire ayant été sollicitée par l'une des parties, certaines expertises se sont déroulées de façon commune.

Enfin, l'ancien expert « voie » de la SNCF, Monsieur Montagné, a été sollicité pour donner son avis sur l'analyse effectuée par le BEA-TT de cet accident.

3- Éléments de contexte

3.1- « L'artère Nord-Est »

L'« artère Nord-Est » du réseau ferré national relie les zones industrielles de Dunkerque, Lille, Valenciennes vers la Lorraine puis vers l'Alsace. Pour le trafic voyageurs, cette relation est qualifiée de « transversale » ; elle a eu ses heures de gloire avec les trains de grandes lignes du genre « Calais-Bâle ». Dans un passé récent, ce trafic voyageurs à grandes distances a disparu et seules quelques liaisons régionales TER sont en service. Cette ligne est essentiellement à vocation « fret ». La section centrale Valenciennes-Thionville, supportant de lourds trafics de minerais, a été la première, après la seconde guerre mondiale, à être électrifiée en courant alternatif « industriel » (25 000 volts, 50 Hz). L'ouverture du tunnel sous la Manche a encore accentué son caractère de liaison stratégique ferroviaire entre la Grande Bretagne, le Nord-Pas de Calais et la Lorraine, le Luxembourg, l'Allemagne, la Suisse et l'Italie.

3.2- L'infrastructure

En fonction de l'importance du trafic, la section de ligne Charleville-Longuyon appartient au groupe 3 UIC (pour un classement d'ensemble de 1 à 9 par ordre d'importance décroissante du trafic). Comme indiqué ci-dessus, cette ligne est électrifiée et dispose d'un cantonnement des trains par block automatique lumineux. La vitesse maximale de circulation est de 120 km/h. Son exploitation est « régulée ». La voie 1 où s'est produit ce déraillement est équipée d'un plancher en bois et de rail type « U 50 », la fixation des rails aux traverses se faisant par selles et attaches nabla. La pente de pose des rails est au 1/20. La limite des régions SNCF de Reims et de Metz-Nancy est au pk 193. Enfin, cette ligne est équipée de la « radio sol-train ».

3.3- Le train de marchandises 72 187 « Dunkerque-Dieulouard »

La composition du train 72 187 est donnée en annexe 8. Il est constitué de 44 wagons tombereaux à bogie, dont la caisse comporte deux trémies. Compte tenu de la masse totale, la traction du train est assurée par une unité multiple de locomotives : BB 27 143 et BB 27 212. La longueur totale du train, y compris les deux locomotives, est de 620 mètres. La masse totale est de 3568 tonnes. La tare des wagons est comprise entre 20,500 t et 22,050 t, la charge maximum de marchandise se situe aux alentours de 61 t, la masse totale pour un wagon ne devant pas dépasser $20,6 \text{ t/e} \times 4 = 82,4 \text{ t}$.

Le tableau de l'annexe 8 mentionne également le poids-frein de chaque wagon, de façon à ce que, lors de l'établissement du bulletin de composition du train, il soit établi que le poids-frein minimum requis est réalisé (Application du règlement S7C : 2 041 tonnes requises ; dans le cas présent, la masse freinée de la rame est de 2 187 tonnes, ce qui est suffisant).

Trafic assuré par ce train :

Ce train assure le transport de minerai de fer depuis le port d'importation de Dunkerque (quai des Pondéreux « QPo » jusqu'à l'usine sidérurgique de Dieulouard (Meurthe et Moselle) ; après déchargement, il effectue son retour à vide vers Dunkerque. La rotation des wagons s'effectue entre deux et six jours, ce qui représente une bonne utilisation pour du matériel ferroviaire fret.

3.4- Le wagon impliqué

Le wagon déraillé porte l'immatriculation 84 87 65 51 318-1 (le code 87 signifie une immatriculation par le réseau ferré national français). L'annexe 4 donne une description simplifiée de sa technologie. Commercialement, ce type de wagon est utilisé au transport de charbon ou de minerai, en circulation par trains entiers ; il existe 60 wagons de ce type, construits dans les

années 70 et dont le titulaire du contrat d'immatriculation est la société ARCELOR.

Principales données techniques :

- wagon tombereau à bogies, exclu du trafic international car ne disposant du régime de freinage « marchandises/voyageurs »,
- longueur hors tout : 13,1m (longueur de chassis 11,82 m),
- entraxe entre les pivots de caisse reposant sur les bogies : 7,96m,
- tare = 21,230 tonnes,
- Crochet de traction du type « 135 tonnes »,
- masse freinée : à vide (26 t), en charge (48 t), de transition (40 t),
- bogies de type « Y 25 Cgw » : chassis mécano soudé apte à la charge de 20,6 tonnes par essieu, équipé d'une fourrure de crapaudine en matériau composite, doté d'amortisseurs « Lenoir* » renforcés par des tourillons de 30 mm de diamètre, l'action du freinage s'effectuant sur les roues par des semelles fonte simples,
- essieux de type « 9052 », pouvant supporter une charge de 20,6 tonnes à l'essieu, équipés de boîtes à rouleau SKF et de roues à toile ondulée.

* Terme figurant dans le glossaire

4- Compte-rendu des investigations

4.1- Résumé des témoignages

La surveillance des trains en marche (STEM) est assurée par certaines gares. Sur l'itinéraire concerné par le train 72 187, les deux dernières gares à avoir assuré cette surveillance sont les gares de Sedan et de Carignan (passage à Carignan à 09h47). L'agent circulation de Carignan n'a rien observé d'anormal.

Les signalements suivants concernant ce train ont lieu après que le déraillement du dernier wagon se soit produit :

- 09h58 : des agents de maintenance de la voie présents aux abords de la voie au pk 191,5 observent que le dernier wagon du train circule avec un bogie hors des rails.
- 10h00 : une personne étrangère à la SNCF, à proximité du passage à niveau n° 31 (pk 191,422) fait le même constat ; il avise l'agent circulation de Carignan par le téléphone du passage à niveau.

Aucun témoignage visuel n'est disponible de l'instant où l'essieu avant du wagon de queue est monté sur le rail. Au pk 190,200 de la voie 1, à l'endroit où la roue 1 du dernier wagon est montée sur le rail, aucune habitation ni voie de circulation ne se trouve à proximité. La voie ferrée serpente dans une zone de pâturages.

Il a été observé que les attelages entre wagons étaient correctement réalisés ; de même pour les manettes des dispositifs « vide/chargé ».

4.2- Formation et conduite du train

4.2.1- Formation du train

Le compte rendu de la traçabilité des opérations de formation du train à Dunkerque n'appelle pas de remarque ; il en est de même pour la rédaction du bulletin de composition.

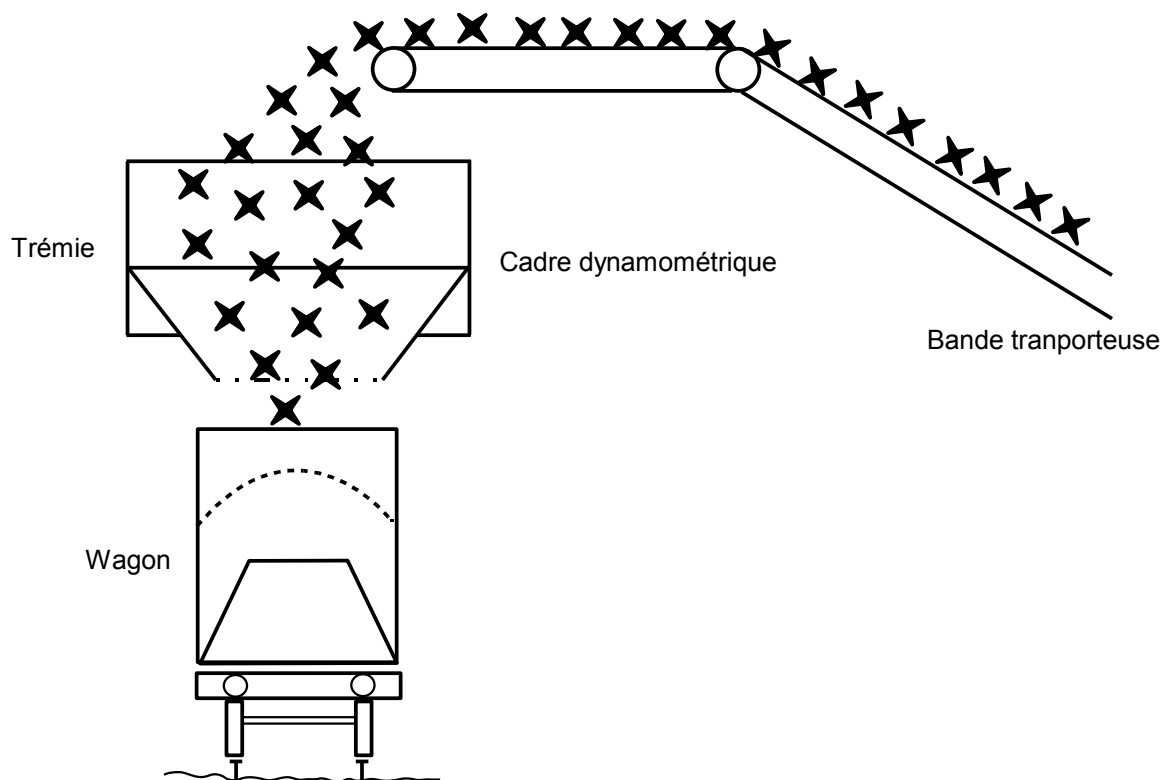
4.2.2- Analyse des enregistrements

L'analyse de l'enregistrement statique (bande ATESS) montre :

- un arrêt du train sur signaux à Lumes,
- une reprise de vitesse jusqu'à 100 km/h en six minutes et vingt deux secondes sur 4600m,
- le conducteur maintient sa vitesse aux alentours de 100 km/h (entre 97 km/h et 103 km/h) en alternant les périodes de traction et de marche sur l'erre en fonction du profil de la ligne.

4.3- Chargement du minerai

Le minerai de fer d'importation arrive par voie maritime au port de Dunkerque, est ensuite stocké dans une zone dénommée QPo (quai des Pondéreux). Ce minerai est repris par une station de chargement (annexe 12). Une bande transporteuse déverse le minerai dans une trémie équipée d'un cadre dynamométrique, sous lequel chaque wagon du train est positionné.



Lorsque la trémie est remplie de la quantité voulue par l'opérateur, celui-ci ouvre les vannes et le minerai tombe par gravité, verticalement dans le wagon. Le chargement d'un wagon s'effectue généralement en deux étapes : une trémie est vidée à la verticale du premier bogie, une deuxième trémie est vidée à la verticale du deuxième bogie. La qualité de la répartition longitudinale est fonction de l'adresse de l'opérateur. La rame de wagons avance à la vitesse de 400 m/heure, ajustée par l'opérateur de chargement qui télécommande la locomotive de manoeuvre.

Sur le site de Dunkerque, il existe une station moderne de pesage des wagons d'un train, située sur la voie 8 du triage de Grande-Synthe. Ces trains à peser défilent à faible vitesse sur cette station, qui mesure la masse sur rail roue (n+1)/roue n de chaque essieu, et signale toute surcharge ou tout déséquilibre significatif. Jusqu'en février 2006, lorsque le faisceau de voies de la zone QPo n'était desservi qu'en traction autonome, les trains de minerai étaient dirigés de QPo vers Grande-Synthe pour être repris en traction électrique jusqu'à leur destination. Le passage à Grande-Synthe permettait en principe de passer par la voie 8 pour pesage. Depuis février 2006, les voies de QPo sont électrifiées et permettent aux trains de partir directement en traction électrique, ce qui est plus économique et plus rapide.

Dans cette situation nouvelle, l'opération de pesage est éludée. Le soin est laissé à l'opérateur SNCF (reconnaisseur ou visiteur) d'apprécier l'état de compression de la suspension et de détecter un éventuel déséquilibre du chargement influant sur la suspension du wagon, l'opérateur demandant alors le détournement du train par le triage de Grande-Synthe, voie 8 pesage. Pour le cas du train 72187 du 13 juin 2006, il n'y a pas eu de pesage à la station de Grande-Synthe, ce qui signifie qu'il a été visuellement jugé correctement chargé.

4.4- Réalisation de la maintenance du wagon

4.4.1- Révisions du wagon

Ce wagon a été construit en 1970. Il a subi en atelier les révisions suivantes :

<i>date</i>	<i>lieu</i>	<i>Type de révision</i>
1970		Construction du wagon
...?...	...?...	révision A
11 mars 1977	SAA Ebange	révision A
24 juin 1980	SAA Ebange	révision A
10 octobre 1984	SAA Ebange	révision A
13 octobre 1989	ATS Groupe Warin	révision A
31 mai 1996	Etablissements Loyer	révision B
26 juillet 2002	SAA Ebange	révision B
au plus tard le 26.07.2008		prochaine révision

Depuis la dernière révision effectuée en 2002, le wagon (w44) a effectué le travail suivant :

<i>période</i>	<i>Travail (tonnes kilométriques t.k)</i>
2002 (depuis la révision du 26 juillet 2002)	1 689 727
2003	4 427 588
2004	4 301 627
2005	4 876 237
2006 (jusqu'au jour du déraillement)	1 655 959
	16 951 138 t.k totaux

Le titulaire du wagon n'est pas adhérent au système « MARGO » proposé par la SNCF, qui permet de gérer le déclenchement de la révision du wagon en fonction du travail effectivement réalisé. Le système « MARGO » aurait proposé la révision dès l'atteinte du travail de 15 Mtk.

La règle qu'applique présentement le titulaire du wagon est le délai en temps de six ans entre révisions, quel que soit le travail effectué.

4.4.2- Maintenance courante subie par le wagon

Sur un passé récent, on note les interventions suivantes :

- 12 janvier 2004 (réparation accidentelle en ligne RAD) : remplacement d'une semelle de frein.
- 04 juillet 2004 (réparation accidentelle en ligne RAD) : changer un cadre porte-étiquette.
- 05 janvier 2005 (réparation accidentelle en centre d'entretien RAE, au poste de maintenance de Dunkerque) ; motif de réforme : « défaut de table de roulement* » : **remplacement des quatre essieux** selon le motif codifié « déformation totale de la table de roulement ». En outre, ont dû être remplacés le tendeur d'attelage, quatre semelles et porte-semelles, deux ressorts-charge ; enfin il a fallu intervenir sur le système **d'amortisseurs Lenoir, pour « jeu insuffisant »**, sans que soit précisé le numéro d'amortisseur (il en existe huit, en correspondance avec chaque roue), ni la nature exacte de l'intervention.

* Terme figurant dans le glossaire

- 19 octobre 2005 : réparation accidentelle en ligne (RAD), par le poste de maintenance de Dunkerque pour intervenir sur une trappe de déchargement.
- 29 décembre 2005 : admission du wagon à l'atelier privé « SAA Ebange », pour application de l'attelage 135 tonnes, en remplacement de l'ancien attelage « 85 tonnes ». Outre l'intervention sur le système de choc et traction du wagon, un robinet d'isolement de frein est remplacé, une intervention est réalisée sur les plaques au manganèse des lisoirs de bogies (sans plus de précisions) ainsi que sur les lisoirs de caisse, **une intervention sur le jeu insuffisant aux amortisseurs Lenoir est enregistrée** – sans que la boîte d'essieu concernée ne soit identifiée ni que la nature de l'intervention soit précisément explicitée. Enfin, **les quatre essieux** ont été à nouveau remplacés suite à détection de tables de roulement exfoliées.
- 19 janvier 2006 (réparation accidentelle en ligne RAD au poste de maintenance de Dunkerque) : dépannage du dispositif de commande des trappes de déchargement.
- 13 avril 2006 (réparation accidentelle en ligne RAD au poste de maintenance de Dunkerque) : dépannage du dispositif de commande des trappes de déchargement.

4.4.3- Visite et reconnaissance

En règle générale, les trains de fret subissent avant leur départ une « reconnaissance d'aptitude au transport » (en abrégé : « reconnaissance » ou RAT) ou une visite technique (en abrégé : « VT »). Pour un wagon donné, le parcours entre deux VT ne doit pas excéder 9 500 km. La reconnaissance est effectuée par un agent du Service Transport, la VT est effectuée par un agent du Service Matériel. Sur le site QPo de Dunkerque, les opérations de reconnaissance comme de visite sont effectuées par les mêmes agents du Matériel. Le wagon 6551.318 avait subi sa dernière VT le 02 juin 2006 et avait parcouru 2 700 km depuis cette VT.

4.4.4- Surveillance automatique en ligne

Le détecteur de boîtes chaudes (DBC) d'Anor (département de l'Aisne) situé entre Hirson et Charleville n'a relevé aucune température anormale de boîte d'essieu sur ce train.

4.4.5- Conclusion relative à la maintenance du wagon

Le schéma de maintenance applicable à ce wagon a été respecté.

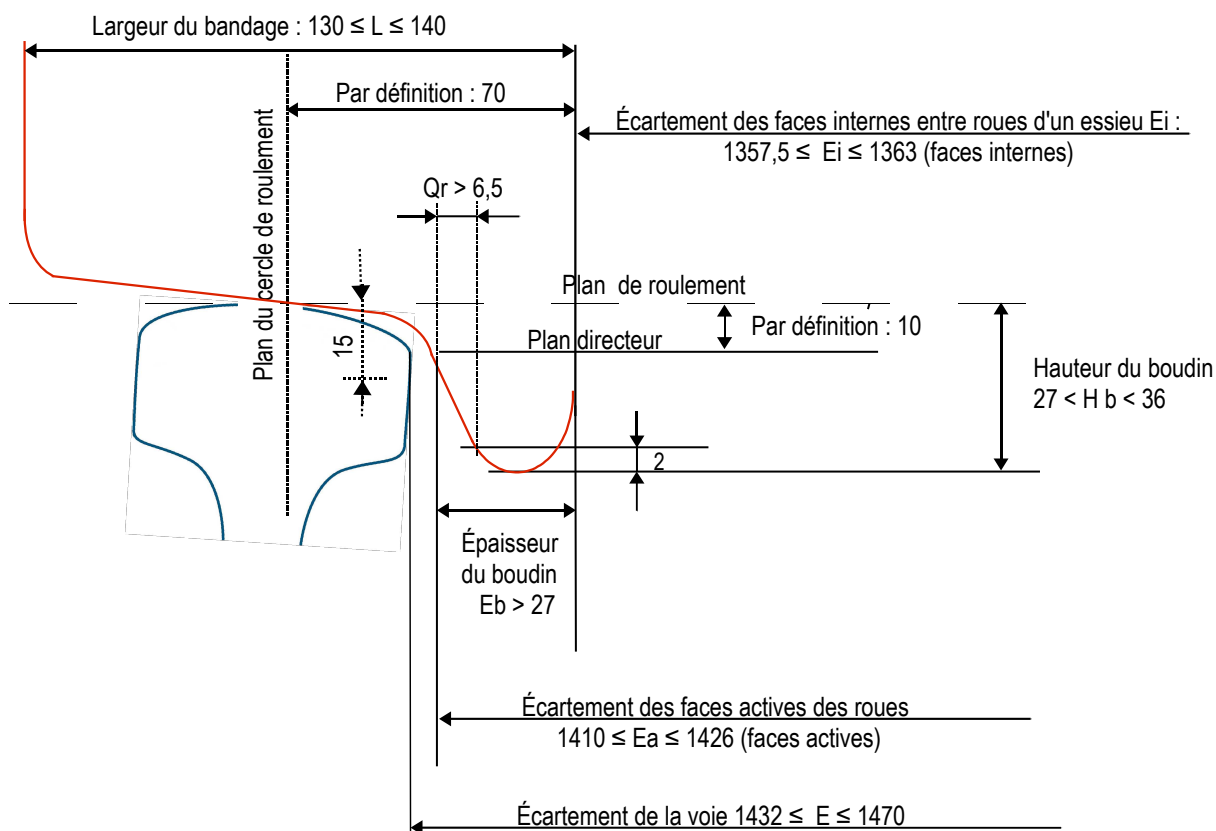
4.5- Expertise du wagon

L'expertise du wagon déraillé (n° 84.87.65.51.318.1) s'est effectuée en trois étapes :

- sur place à Montmédy, où le wagon a été remis après avoir été relevé en ligne et acheminé : contrôle des essieux (premières mesures), mesure des jeux aux lisoirs, observation des cotes visuelles relatives aux amortisseurs, état des pivots et crapaudines (levage de la caisse nécessaire), pesage roue par roue du wagon avec l'appareillage de l'Agence d'Essai Ferroviaire.
- après acheminement sur bogies de remplacement vers l'Agence d'Essai Ferroviaire, mesure du couple de rotation bogies-caisse et nouvelle série de pesage roue par roue.
- à Tergnier (Picardie), à l'Etablissement Industriel de Maintenance des wagons, démontage complet des bogies pour mesure de tous les paramètres significatifs, nouvelle mesure des essieux et mesures sur la caisse du wagon.

4.5.1- Etat des essieux

Les cotes caractéristiques d'un essieu figurent sur le schéma suivant :



Les valeurs normales fixées par le référentiel sont les suivantes :

	<i>Hauteur boudin roue</i>	<i>Épaisseur boudin roue</i>	<i>Cote Q_r roue</i>	<i>E_i : écartement des faces internes entre roues</i>	<i>E_a : écartement des faces actives des roues</i>
Référentiel (mm)	$27 < H_b < 36$	$E_b > 27$	$Q_r > 6,5$	$1357,5 < E_i < 1363$	$1410 < E_a < 1426$

Les quatre essieux du wagon ont été jaugés, les résultats mesurés sont les suivants :

<i>roue</i>	<i>hauteur boudin</i>	<i>E boudin</i>	<i>Q_r</i>	<i>$E_{i.1}$</i>	<i>$E_{i.2}$</i>	<i>$E_{i.3}$</i>	<i>$E_{a.1}$</i>	<i>$E_{a.2}$</i>	<i>$E_{a.3}$</i>
1	23	27	8,4	1368,8	1367,5	1370,6	1422,8	1421,5	1424,6
2	23,5	27	8,5						
3	26,4	28	8,6	1360,8	1362,8	1362	1417,8	1419,8	1419
4	27	29	9						
5	27,3	28	8	1360	1360,8	1361,9	1416,2	1417	1418,1
6	27,6	28,2	7,6						

<i>roue</i>	<i>hauteur boudin</i>	<i>E boudin</i>	<i>Qr</i>	<i>Ei.1</i>	<i>Ei.2</i>	<i>Ei.3</i>	<i>Ea.1</i>	<i>Ea.2</i>	<i>Ea.3</i>
7	28	30	10	1358,3	1361,8	1360,3	1419,8	1423,3	1421,8
8	27	31,5	11						

Les différentes cotes sont exprimées en millimètres. L'écartement des essieux (faces internes et faces externes) est mesuré en trois points à 120°. Lors de l'usinage des tables de roulement des essieux, une hauteur de boudin de 27 mm est respectée ; par la suite, en roulant et du fait des différents freinages, la table de roulement a plutôt tendance à se creuser, faisant croître ainsi la hauteur du boudin. Le tableau ci-dessus montre que les hauteurs de boudins des roues 1,2 et 3 sont hors norme, car inférieures à la cote minimale prescrite.

De même, l'écartement des faces internes de l'essieu (1-2) est supérieur au maximum autorisé.

Discussion : les essieux ont été placés sous ce wagon en décembre 2005, après avoir subi une révision ; cette révision d'essieu a comporté un reprofilage suivant le profil standard SNCF. Les non-conformités constatées dans le cas présent peuvent avoir deux origines :

- un dérèglement du tour à reprofiler, non détecté par l'opérateur lors de ses opérations de contrôle de la géométrie de chaque essieu en sortie de tour.
- le fait d'avoir roulé dans le ballast et sur les têtes de traverses pendant plus de 9 900 mètres pour les essieux (1-2) et (3-4) a joué un rôle de grenailage de la table de roulement et du boudin, ce qui explique l'insuffisance de hauteur du boudin des roues concernées ; en outre, l'essieu (1-2) a heurté pendant sa marche hors voie un rail en dépôt. Sous le choc, la roue 1 s'est décalée sur son axe, d'où il résulte un écartement excessif des faces internes.

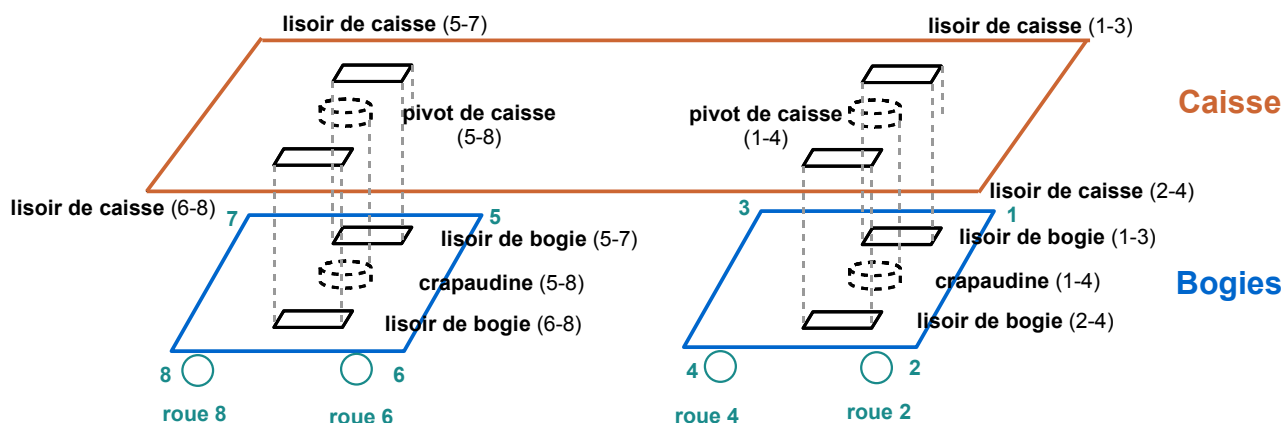
Les conditions de fonctionnement du tour à reprofiler concerné n'ont pas montré d'anomalies ; outre les contrôles individuels effectués par l'opérateur sur chaque essieu, le tour est contrôlé dans son fonctionnement tous les dix essieux à l'aide d'un essieu étalon.

En conclusion, les non conformités géométriques relevées sur les essieux (1-2) et (3-4) sont une conséquence du déraillement et non une anomalie préexistante. Les essieux étaient donc géométriquement normaux avant l'accident.

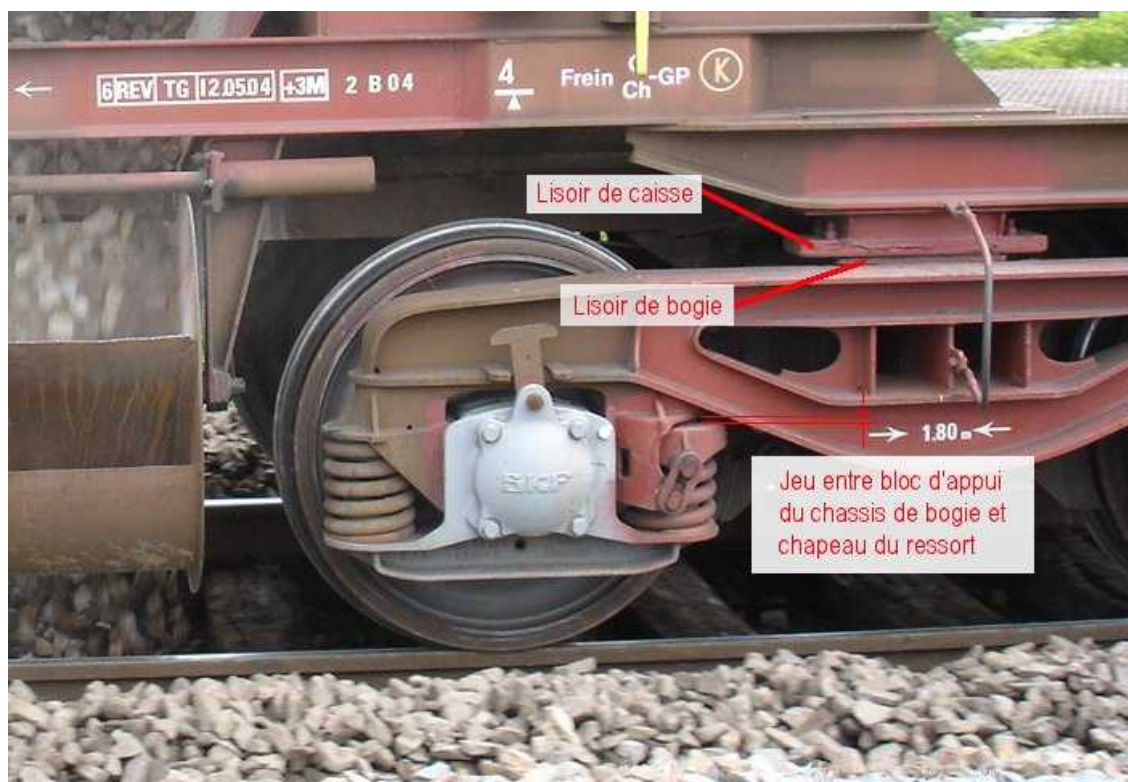
4.5.2- Expertise du wagon avant démontage (à Montmédy et à Vitry-AEF)

Jeux aux lisoirs :

La caisse du wagon repose sur les traverses de bogies par l'intermédiaire de pivots/crapaudines et de lisoirs (lisoirs de caisse et lisoirs de bogies). Ce type de wagon est équipé de bogies à lisoirs fixes (le wagon comporte quatre couples de lisoirs). Un jeu positif entre lisoirs de caisse et lisoirs de bogies permet au wagon de circuler en courbe et d'absorber les gauches de raccordement. Dans le cas présent, la mesure sur place des jeux aux lisoirs donne 6 mm pour le bogie (1-4) et 7 mm pour le bogie (5-8). Ces valeurs sont dans la norme pour un wagon de cet empattement (7,96 m). Le référentiel indique, dans le cas d'un wagon examiné lors d'une réparation hors révision, une fourchette (minimum = 4 mm ; maximum = 14 mm).



La caisse repose sur les deux crapaudines (1-4 et 5-8) et sur un ou deux lisoirs de bogies. Pour le bogie (1-4), si la caisse repose sur la crapaudine et sur le lisoir (2-4), le jeu aux lisoirs est la distance entre le lisoir (1-3) du bogie et le lisoir (1-3) de la caisse. Même raisonnement par rapport au bogie (5-8).

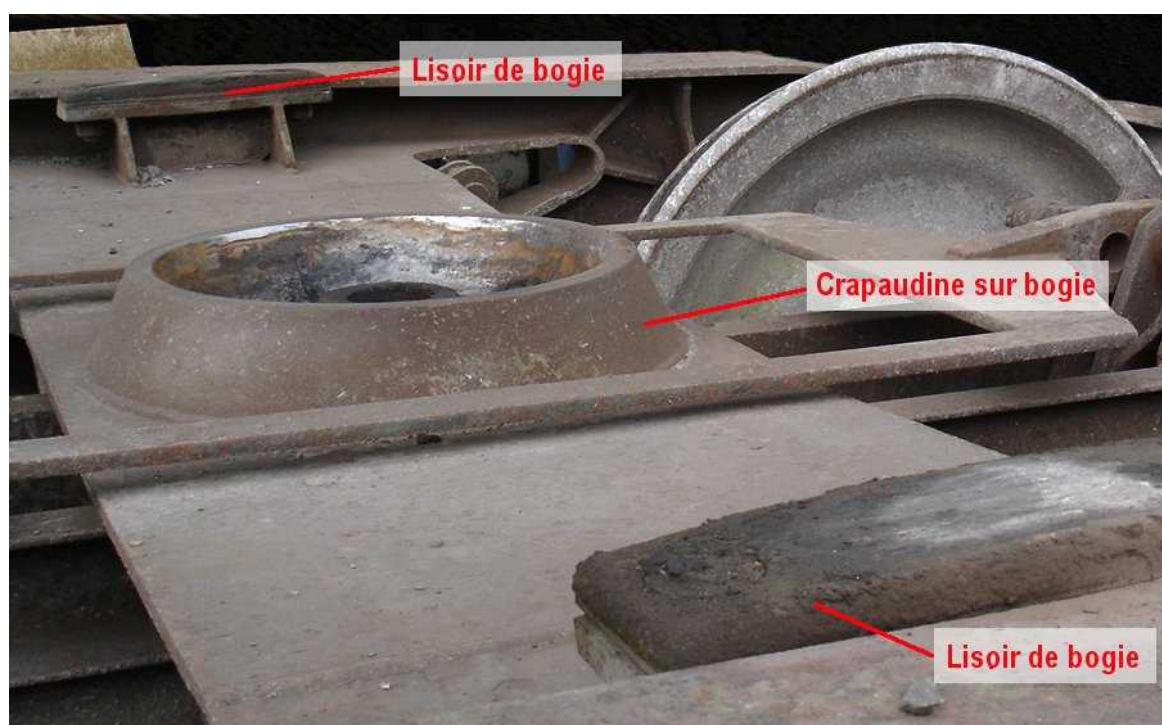
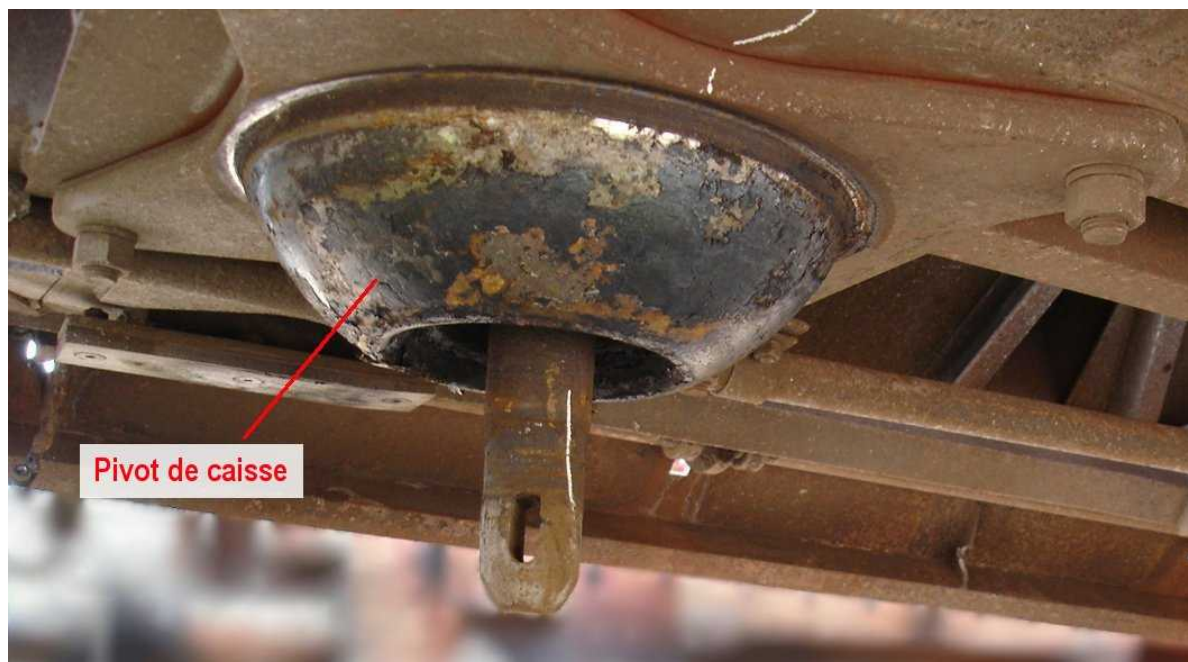


Efficacité des amortisseurs Lenoir :

Le bogie (1-4) présente au niveau de l'essieu (1-2) un jeu nul entre le chapeau de ressort et le bloc d'appui du châssis de bogie sur chacun des côtés roue 1 et roue 2. Vraisemblablement, le châssis de bogie a été déformé lors du déraillement et est entré en contact directement avec les chapeaux de ressort. Le bogie (5-8) présente des jeux aux amortisseurs Lenoir conformes (jeu > 2 mm entre bloc d'appui et châssis de bogie).

Pivots et crapaudines :

Le levage du wagon à Montmédy pour substitution des bogies avant l'acheminement vers l'Agence d'Essai Ferroviaire a permis d'examiner l'état des pivots de caisse et des crapaudines de bogie ; il n'est pas constaté de traces de grippage, les seules marques apparentes indiquent que la caisse repose majoritairement sur les lisoirs du côté des roues paires.



Répartition des masses sur rail :

Un pesage roue par roue du wagon, chargé en l'état, a été réalisé sur voie de service à Montmédy et sur voie de référence à Vitry (AEF*), ce wagon reposant sur ses bogies d'origine ; à titre de comparaison, un autre pesage du wagon a été réalisé à Vitry sur les bogies ayant servi à l'acheminement, ces bogies étant réputés sains. Pour réduire l'influence des frottements secs, les anneaux des amortisseurs Lenoir ont été retirés des bogies.

Les pesées sont statiques et réalisées grâce à des châssis de pesée d'essieux disposés sur le rail sous les roues du wagon. Le wagon est entièrement levé puis posé sur les châssis pour obtenir la mesure de charge roue par roue. L'opération est réalisée à l'aide de quatre vérins qui fonctionnent simultanément afin de ne pas influencer sur les charges par roues lors des levages successifs. Quatre pesées successives ont été réalisées. Le résultat final (Q moy) est issu du calcul de la moyenne de l'ensemble des pesées.

Le résultat des mesures est exposé dans le tableau de l'annexe 7.

Le pesage à Montmédy fait apparaître l'essieu (1-2) présentant le plus fort déséquilibre entre les charges pesant sur les roues 1 et 2 :

$$Q2 \text{ moy} / Q1 \text{ moy} = 96,5/79,5 = 1,248$$

Ce déséquilibre reste dans la tolérance mentionnée par la directive de chargement FR 0165 (maximum de 1,25).

Le pesage sur voie de référence de l'Agence d'Essai Ferroviaire de Vitry fait apparaître l'essieu (5-6) ayant le plus fort déséquilibre :

$$Q6 \text{ moy} / Q5 \text{ moy} = 97,0/76,8 = 1,263$$

Ce déséquilibre dépasse légèrement la directive de chargement de 1,25.

Une troisième mesure effectuée sur voie de référence, le wagon reposant sur les bogies de transport, fait apparaître à nouveau l'essieu (5-6) en déséquilibre, dans le rapport moindre de 1,231 ; or ce n'est pas cet essieu qui est impliqué dans la montée de roue sur le rail.

Cette dispersion des résultats de mesure laisse à penser que les résultats sont sous l'influence des frottements de la suspension, malgré le retrait des anneaux Lenoir.

Par rapport à l'ensemble de ces mesures, il apparaît une constante dans le fait que le côté pair du wagon est le plus chargé : on relève un écart de 2,8 tonnes pair/impair, soit en valeur relative $2,8T/70,6T = 3,9\%$. Il reste à identifier les raisons de ce déséquilibre latéral qui reste mineur : soit le chargement de minerai en est la cause, soit cela provient d'une déformation de la structure du wagon.

Couple de rotation bogies-caisse :

Il s'agit d'un paramètre important à prendre en considération puisque le déraillement s'est produit alors que le wagon circulait en courbe. Si la valeur du couple est trop importante, le bogie a du mal à s'inscrire en courbe. Dans le cas présent, le début de courbe a été abordé sans difficulté par le wagon, la sortie de courbe ne devant pas présenter de difficultés particulières à l'égard de ce paramètre. Néanmoins, il a été demandé que ce wagon, ainsi que l'avant dernier (w43 = 84.87.6552.046) qui avait été retiré du train à Montmédy, soient testés en couple de rotation à la station de l'AEF à Vitry.

* Terme figurant dans le glossaire

Wagon 84.87.65.51.318.1 (wagon ayant déraillé ; classé 44 ème et dernier du train) :

<i>Angle de rotation (mrad)</i>	<i>Rayon correspondant de la courbe (m)</i>	<i>Grandeur mesurée</i>	<i>Bogie 1-4</i>	<i>Bogie 5-8</i>
60	66	couples de rotation (kN.m)	23,4	32,3
40	100		24,3	31,1
20	200		24,3	33,2
8	500		23,8	31,1
4	1 000		24,3	30,6

Le bogie avant en cause dans le déraillement présente le couple de rotation le meilleur, dont la valeur est inférieure au seuil de 50 kN.m

Wagon 84.87.6552.046 (wagon « témoin », non déraillé, classé 43ème et avant-dernier du train) :

<i>Angle de rotation(mrad)</i>	<i>Rayon correspondant de la courbe (m)</i>	<i>Grandeur mesurée</i>	<i>Bogie 1-4</i>	<i>Bogie 5-8</i>
60	66	couples de rotation (kN.m)	50,2	41,7
40	100		47,7	41,3
20	200		46,0	40,4
8	500		46,0	39,1
4	1 000		46,0	39,1

Ce wagon témoin présente un couple de rotation plus important que le wagon déraillé, mais néanmoins moindre que le seuil de référence de 50 kN.m (sauf pour le rayon de courbe de 66 mètres, cas qui ne se rencontre que très rarement sur voie de service).

En conclusion, le niveau de frottement du système pivots-lisoirs n'est pas pris en défaut en ce qui concerne l'aptitude du wagon à circuler en courbe.

Autres éléments :

La timonerie de frein présente des dégradations : les triangles de frein sont tordus ainsi que les porte-semelles. Une des semelles de la roue 2 présente des traces profondes sur le flanc et trois semelles sont manquantes (deux sur la roue 1 et une sur la roue 6). Ces anomalies (sans influence sur la tenue en ligne du wagon) ne préexistaient vraisemblablement pas avant le déraillement et en sont plutôt la conséquence.

4.5.3- Etat du chargement

L'annexe 6 montre la répartition du minerai dans les trémies du wagon, telle qu'elle a pu être observée lors du stationnement du wagon à Montmédy, après le relevage en ligne et acheminement sur voie de garage. Visuellement, le chargement est bien réparti vis à vis des deux axes de symétrie du wagon. Nous ne disposons pas d'information sur la bonne répartition du chargement au point de chargement QPo de Dunkerque : ce site ne dispose pas d'installation de pesage, tandis que les trains origine QPo ne font plus relais sur la voie de pesage du faisceau de Grande-Synthe.

Ce wagon a subi de très fortes secousses pendant sa marche en dehors des rails, ce qui ne pouvait qu'homogénéiser le minerai pulvérulent, même si d'origine, la répartition était dissymétrique.

4.5.4- Démontage du wagon et expertise complète à l'atelier de Tergnier (Aisne)

Les mesures globales réalisées sur place à Montmédy comme à l'Agence d'Essai Ferroviaire de Vitry n'ont pas mis en évidence d'écarts significatifs et explicatifs par rapport à un wagon « dans la norme ». Il se révèle nécessaire de pousser plus loin les investigations sur la conformité géométrique du wagon, ces mesures complémentaires permettant aussi d'alimenter les données d'entrée de la simulation numérique que nous serons amenés à réaliser.

La question s'est posée de savoir si ce wagon est en moins bon état que ceux du reste de la population des wagons « DMH 60 », ou bien, si la famille est homogène, que cette famille présente globalement des insuffisances. Deux « wagons témoins » ont été désignés pour être analysés à leur tour et permettre une comparaison entre les trois wagons. Les wagons choisis sont le wagon placé 43ème (« w43 » = 84.87.6552.046) dans le train 72 187, attelé au wagon incriminé et le wagon de la même population qui a engrangé le travail maximum, le « wi » immatriculé 84.87.6551.319.

Pour l'expertise complémentaire du wagon incriminé, les éléments suivants sont désolidarisés : caisse, bogies, essieux. Les bogies sont à leur tour désassemblés de façon complète pour procéder à un examen ultime, selon le document de référence SNCF « fiche de réparation R.R.5.505 vérification de la géométrie et redressement des châssis de bogies Y 21 à Y 37 et leurs dérivés ».

Les opérations suivantes ont été réalisées :

- mesure du gauche des châssis de bogies,
- contrôle et tarage des ressorts de suspension,
- mesure des poussoirs « Lenoir », des anneaux et tourillons,
- expertise des essieux selon la fiche de visite VR 1 503,
- contrôle du gauche du châssis de wagon,
- autres paramètres des bogies,
- contrôle des flèches longitudinales et transversales du wagon,
- appréciation de la géométrie globale du wagon,
- raideur torsionnelle du châssis de wagon,
- contrôle du fonctionnement du frein.

L'ensemble de ces mesures montre un état quasi nominal du wagon (annexe 16). On relève à l'encontre de ce wagon que le poussoir « Lenoir » associé à la roue 1 est un peu court (64,7 mm pour une cote minimum de 65,4 mm, soit un manque de 0,7 mm) ; cela pourrait rendre inefficace cet amortisseur si, par ailleurs, le système anneaux-tourillons était hors norme, ce qui n'est pas le cas. Il est important de noter que le châssis de bogie avant (1-4) impliqué dans ce déraillement ne présente aucun gauche ; toutefois, l'incertitude sur le jeu initial au chapeau d'amortisseur de l'essieu (1-2) et la cote du piston 1 font craindre un déchargement de la diagonale (1-4) du bogie.

4.5.5- Eléments de comparaison avec les wagons témoins

A l'origine de l'enquête, le wagon ayant déraillé a pu être suspecté d'être en mauvais état de maintenance. La population de ces wagons de transport de minerai étant assez homogène, la question s'est posée d'apprécier succinctement l'état de deux autres wagons témoins, de façon à disposer d'une certaine comparaison. Ont été expertisés :

- w43 : 6552.046, avant dernier wagon du train et attelé au wagon incriminé, équipé de lisoirs élastiques.

- wi : 6551.319, semblable au wagon incriminé (lisoirs fixes) qui roule le plus.

Aucun défaut notoire n'a pu être mis en évidence.

4.5.6- Conclusion relative au wagon déraillé

Hormis l'état de l'amortisseur Lenoir relatif à la roue 1, la géométrie du wagon ne présente pas d'écart significatif par rapport aux valeurs de référence. Il est probable que l'absence de jeu de l'amortisseur « Lenoir » roue 1 est une conséquence du déraillement par faussage du longeron auquel le bloc d'appui est soudé. Il est également possible que ce soit une cause, c'est la raison pour laquelle l'étude numérique engagée ultérieurement comporte une variante où l'amortissement relatif à l'essieu (1-2) est nul.

Finalement ce wagon est considéré « sain » géométriquement.

4.6- Réalisation de la maintenance de la voie

4.6.1- Historique des opérations de maintenance de la voie

La voie 1 a été renouvelée en 1979 ; l'opération a consisté dans le renouvellement du ballast, des traverses et des rails. Les attaches élastiques rails-traverses ont été changées à cette occasion.

Un relevage de la voie par apport de ballast a été réalisé en 1997 pour rétablir le nivellement entre les pk 189,500 et 190,650.

La planification des grosses opérations périodiques prend l'échéance de 2008 pour réaliser le prochain renouvellement important. Une telle opération de maintenance présente un intérêt économique en limitant les dépenses de maintenance courante ; les seuils de trafic ou de temps en vigueur sont de :

- 740 millions de tonnes de trafic supporté pour le remplacement des rails (type UIC 60) et du ballast.
- 30 ans pour des traverses en bois, 50 ans pour des traverses béton.

Le relevé des travaux effectués de maintenance courante montre la conformité des réalisations vis à vis des programmes.

4.6.2- Etat de graissage de la voie

Le rail des courbes ferroviaires a besoin d'être légèrement lubrifié pour réduire son usure due au contact rail acier / roue acier dans les courbes. En effet, les deux roues d'un même essieu ayant le même mouvement angulaire, la roue extérieure parcourt plus de chemin que la roue intérieure, ce qui engendre pour cette roue un certain glissement sur le rail en sus de la rotation ; ce glissement acier sur acier est à l'origine de l'usure des rails en courbe.

Selon le référentiel Infrastructure « IN 0206 », il est prévu que les voies soient parcourues par un certain nombre d'engins moteurs (lors de la traction de leur train) équipés de graisseurs de boudins ou de graisseurs de rail. L'indice de graissage des engins (IGE selon l'IN 206) est de 10,9, ce qui est correct (le référentiel recommande que IGE > 10) ; les engins moteurs circulant sur la ligne sont principalement les locomotives type « 27 000 » qui sont équipées de graisseurs de boudins.

Un relevé de l'état du graissage est effectué périodiquement sur certaines zones témoins des principaux itinéraires. Sur la section de ligne de Mohon à Thionville, la zone témoin se situe au pk 158,715, soit à un peu plus de 31 km en amont du point de déraillement. Le résultat est significatif pour la zone du pk 190,200 puisqu'il y circule le même trafic ferroviaire.

Le résultat des relevés est le suivant, selon la « fiche de visite périodique de point témoin de graissage (IN 206 annexe 2) » :

pk 158,715 en courbe « à droite », courbe de rayon 459 m, vitesse maximale sur la courbe de 120 km/h, rails posés le 01/04/2000 (rails neufs marqués HY, 98 x, UIC 60, \$, μ).

qualité du graissage :

<i>Date du contrôle</i>	<i>Conditions atmosphériques</i>	<i>Conditions atmosphériques</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Usure latérale(mm)</i>
....							
30.04.2004	$15^{\circ} < t^{\circ} < 30^{\circ}$	sec			x		1
24.11.2004	$0^{\circ} < t^{\circ} < 15^{\circ}$	sec			x		1
18.05.2005	$0^{\circ} < t^{\circ} < 15^{\circ}$	pluie			x		1
10.11.2005	$15^{\circ} < t^{\circ} < 30^{\circ}$	sec			x		1
15.05.2006	$15^{\circ} < t^{\circ} < 30^{\circ}$	sec			x		1

A=bon graissage ; B=graissage insuffisant ; C=graissage insuffisant avec présence de limaille ; E=excès de graissage, risque d'enraillage et de patinage.

La voie est donc insuffisamment graissée. Outre l'usure du rail qui en résulte, le coefficient de frottement roue/rail est plus élevé, ce qui a un impact sur l'aptitude du boudin de la roue à déplacer le point de contact roue-rail vers le haut. L'étude numérique tient compte de ce paramètre.

4.6.3- Conclusion relative à la maintenance de la voie

La réalisation de la maintenance de la voie est conforme aux règles en vigueur.

4.7- Expertise de la voie

4.7.1- Constats relatifs à la voie 1 autour du pk 190,200

L'examen de la voie a fait apparaître de façon visible une trace de montée d'un boudin de roue sur le champignon de la file gauche des rails à partir du pk 190,200 (photos de l'état de la voie et du champignon du rail en annexes 9 et 10). La trace sur le champignon du rail se prolonge sur 16 mètres progressivement vers l'extérieur jusqu'au point de chute de l'essieu à l'extérieur du rail au pk 190,216.

La voie est équipée de traverses en bois, de rails « U 50 » datant de 1979 (masse linéique 50 kg/m). Pour la zone considérée, la voie est en courbe de rayon 675 m dont le dévers est de 130 mm jusqu'au pk 190,170 ; le retour à un dévers nul dans l'alignement droit qui suit, se fait par un raccordement parabolique jusqu'au pk 190,290. La longueur de ce raccordement parabolique est de 120 m et présente une pente de 1,08 mm/m.

En amont du point de montée du boudin de la roue 1 sur le champignon du rail, celui-ci comprend un coupon de rail d'une longueur de 6 mètres qui a été mis en voie en octobre 1999, du pk 190,179 au pk 190,185 (annexe 11). Ce coupon présente une usure latérale inférieure à celle de la voie encadrante, ce qui présente une discontinuité du profil de rail rencontré par les essieux des trains. Cette discontinuité de profil pourrait influencer la dynamique des véhicules ; en tout état de cause, l'ensemble des profils de rail de la zone précédant le déraillement a été pris en compte dans l'étude numérique réalisée par l'INRETS (voir paragraphe 4.8). Les résultats de l'étude numérique ne

pointent pas cette discontinuité de profil du champignon du rail dans les causes du déraillement.

Au pk 190,205, entre le point de montée du boudin sur le champignon et le point de chute de l'essieu dans le ballast se trouve un défaut de rail éclissé (codifié « 4712 » : fissuration transversale sous rechargement à l'arc en pleine barre). Ce défaut a été découvert le 24/01/2005 ; il est classé « X1 » depuis le 13/03/2006, ce qui laisse un délai de 6 mois comme date limite de remplacement (13/09/2006). Situé 5 mètres en aval du point de montée de la roue sur le champignon du rail, ce défaut n'a pas eu d'impact sur la trajectoire de la roue lors de son passage au pk 190,205.

Les traverses sont en bon état et la tenue de l'ensemble « traverses-selles-rails-attaches » est bonne.

On ne détecte aucune trace de chasse de la voie dans la courbe ou dans le raccordement parabolique.

En ce qui concerne le graissage du champignon du rail par les engins moteurs, on constate selon les examens visuels sur le terrain qu'il est inexistant. Cependant, on n'observe pas d'apparition de limaille, qui aurait signalé une situation d'usure anormalement rapide du rail.

4.7.2- Caractéristiques géométriques de la voie aux abords du pk 190,200

Neuf paramètres sont pris en compte par les référentiels applicables 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) sur l'écartement.

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

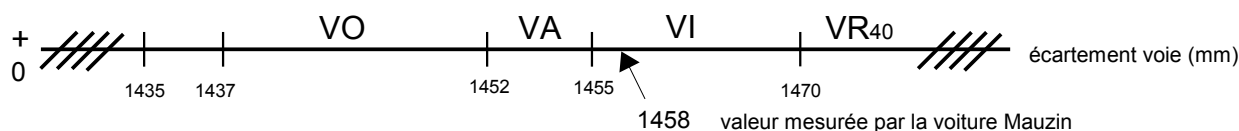
V.I. Valeur d'intervention* : une intervention pour resserrer la voie doit avoir lieu dans un délai de trois mois.

V.R. Valeur de ralentissement* : dans le cas présent, la vitesse de circulation des trains devrait être réduite à 40 km/h, en attendant l'intervention de remise à niveau de l'écartement maximum (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.

Écartement maximum de la voie

Les normes du référentiel IN 1895 se schématisent de la façon suivante (pour une vitesse de ligne de 120 km/h) :



L'écartement de la voie est la distance (en millimètres) entre les deux faces internes des rails, à une hauteur de 15 mm au dessous du plan de roulement.

* Terme figurant dans le glossaire

L'écart maximum mesuré à la règle sur le terrain se situe précisément au pk 190,200. La valeur à vide est de 1 457 mm, à laquelle il convient de rajouter 2 mm pour tenir compte de la charge du matériel roulant sur la voie, soit un écartement maximum mesuré de :

$$1\,457\text{ mm} + 2\text{ mm} = 1\,459\text{ mm}$$

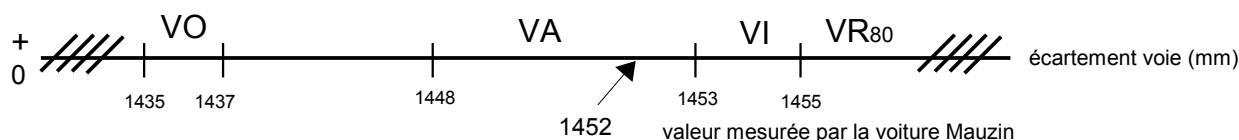
A titre de comparaison, les mesures automatiques effectuées par la voiture Mauzin lors de la tournée de mesure du 29 mars 2006 ont relevé : 1 458 mm.

L'écartement maximum est classé V.I. (valeur d'intervention).

Détecté le 29 mars 2006, cet écartement maximum devait être corrigé avant le 29 juin 2006 (délai de trois mois).

Écartement moyen de la voie

Les normes du référentiel « IN 1895 » se schématisent de la façon suivante (pour une vitesse de ligne de 120 km/h) :



L'écartement moyen « glissant » est mesuré à la règle, le résultat pris en compte est la moyenne arithmétique des écartements mesurés sur 100 m. La plus forte moyenne se situe entre les pk 190,110 et 190,210, et prend la valeur de 1 452 mm.

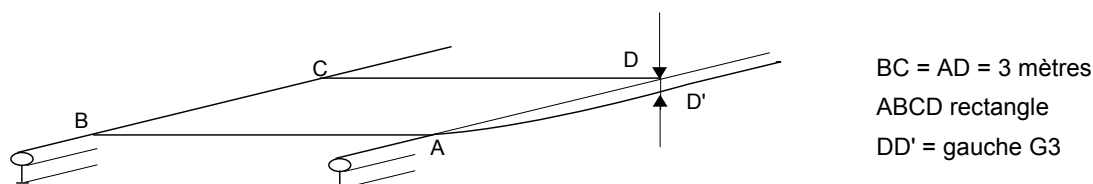
L'écartement moyen est classé V.A. (valeur d'alerte).

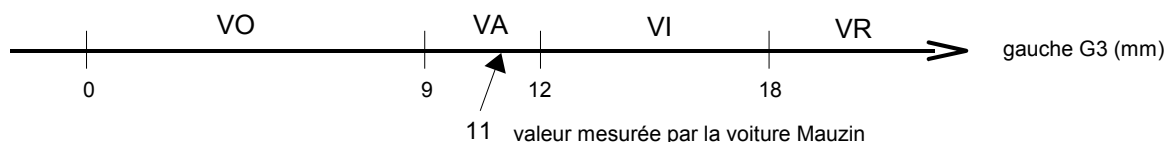
Les opérateurs s'en tiennent à une surveillance spéciale.

Gauche de la voie sur une longueur de 3 m (G3)

La longueur de trois mètres est choisie pour correspondre à l'empattement des bogies ; en réalité, la voiture Mauzin mesure le gauche sur 2,75 m et le gauche sur 3 m est « calculé ». En outre, seuls les bogies de TGV ont un empattement de 3 m, l'empattement des bogies Y 25 de wagons est de 1,8 m.

Les normes du référentiel « IN 2640 » se schématisent de la façon suivante, pour une vitesse de ligne de 120 km/h :





Le gauche (G.3) sur 3 mètres mesuré sur le terrain à la règle atteint sa valeur maximale au pk 190,196. Cette valeur est de :

$$G.3 = 11 \text{ mm}$$

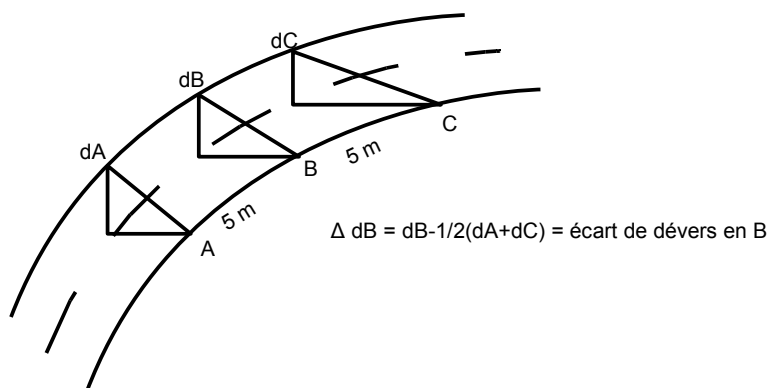
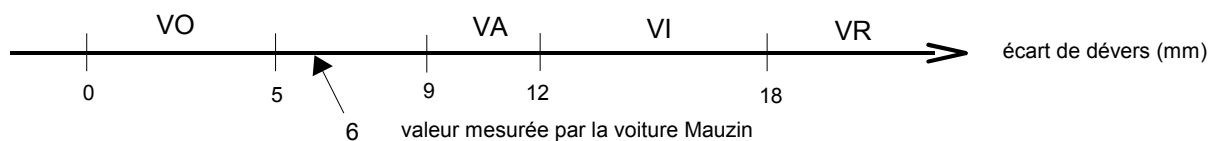
La mesure ci-dessus de 11 mm comprend un niveau de danse* de traverse de 2 mm ainsi que le gauche de construction du raccordement parabolique de 1,08 mm/m.

Le gauche G.3 mesuré par la voiture Mauzin lors de sa tournée du 29 mars 2006 est de 7,5 mm, cette cote n'ayant pas évolué par rapport aux deux relevés Mauzin précédents.

Le gauche G.3 d'une valeur de 11 mm (maximum dans la zone précédant le déraillement) est classé V.A. (valeur d'alerte).

Écart 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. Les normes du référentiel « IN 2640 », pour une vitesse de ligne de 120 km/h, se schématisent de la façon suivante :



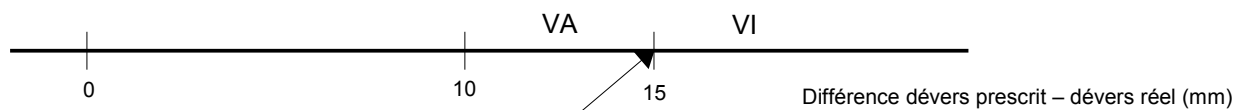
L'écart de dévers maximum mesuré sur le terrain à la règle se situe au pk 190,202 et a pour valeur 6 mm. En comparaison, le relevé Mauzin effectué le 29 mars 2006 indiquait 5 mm.

L'écart de dévers maximum, est classé entre V.O. (valeur d'objectif) et V.A. (Valeur d'alerte).

* Terme figurant au glossaire

Différence entre dévers réel et dévers prescrit

Les normes du référentiel « IN 2640 », pour une vitesse de ligne de 120 km/h se schématisent de la façon suivante :



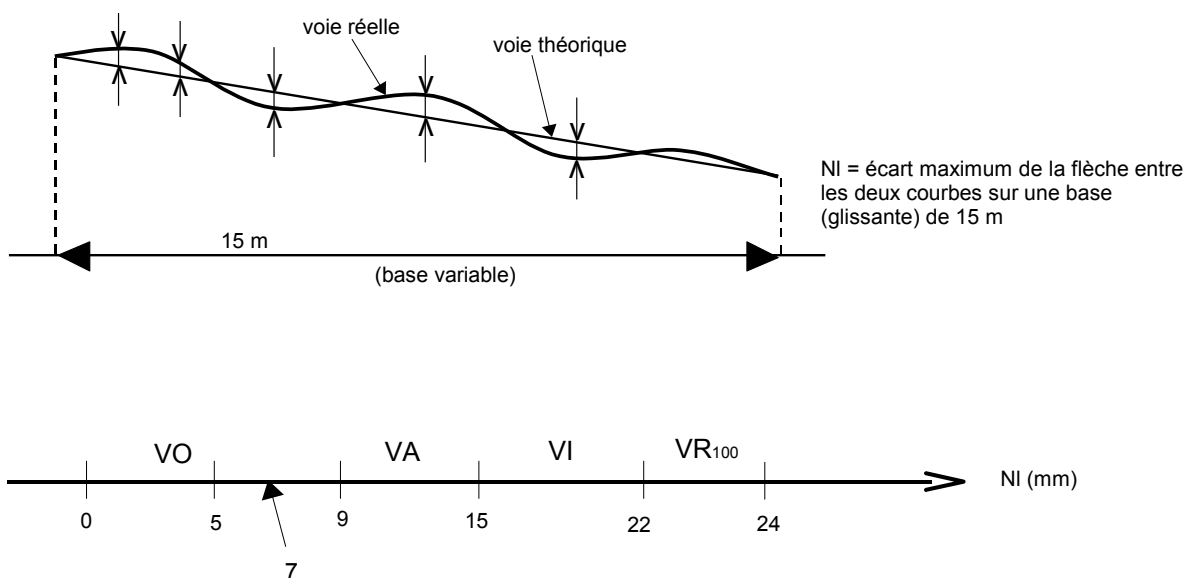
La différence maximale entre le dévers réel et le dévers prescrit se situe au pk 190,187 et a pour valeur 15 mm ; ce paramètre n'est pas mesuré par les engins Mauzin.

La différence entre dévers prescrit et dévers réel est classée V.A. (valeur d'alerte).

Nivellement longitudinal

C'est un défaut de géométrie, situé dans le plan vertical, représenté par l'écart (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.

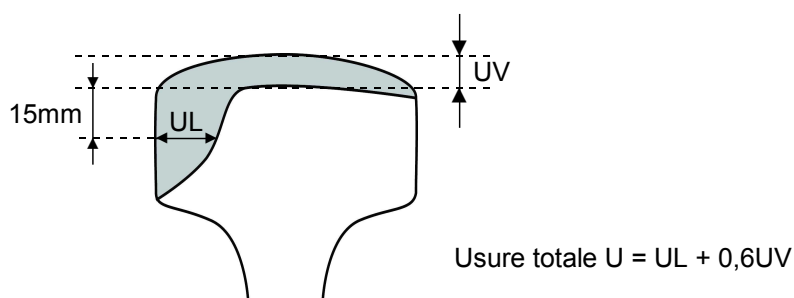
Les normes du référentiel « IN 1895 » se schématisent de la façon suivante, pour une vitesse de ligne de 120 km/h :



Le nivellement longitudinal maximum mesuré sur le terrain se situe au pk 190,206 et a pour valeur 7 mm. Le relevé Mauzin du 29 mars 2006 indiquait aussi 7 mm.

Le nivellement maximum est classé entre V.O. et V.A.

Usure du champignon du rail



Les normes du référentiel « IN 2060 » se schématisent de la façon suivante, pour une vitesse de ligne de 120 km/h :

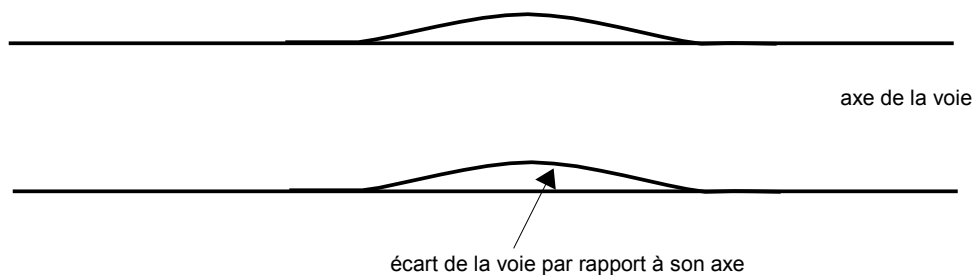


L'usure latérale (UL) maximale est de 4 mm ; l'usure verticale (UV) maximale est de 4 mm. L'usure totale vaut ainsi 6,4.

L'usure du champignon le classe V.O. (valeur d'objectif).

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 (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.



Les normes du référentiel « IN 1895 », pour une vitesse de ligne de 120 km/h, se schématisent de la façon suivante :



Les valeurs du dressage sont mesurées sur une base de 10 m (au cordeau classique de 10 m

ou à l'aide de voiture Mauzin), le relevé du 29 mars 2006 a indiqué 5 mm.

Le dressage de la voie est classé V.O. (valeur d'objectif).

Inclinaison du rail

Le défaut maximum d'inclinaison du rail se localise sur la file gauche et vaut 4 mm, vers l'extérieur de la voie. Il se situe précisément au pk 190,200.

Ce paramètre ne fait pas partie du panel de paramètres de la norme voie.

4.7.3- Conclusion relative à l'état de la géométrie de la voie en regard des normes

Les diverses observations qui ont été effectuées après le déraillement ont identifié sans ambiguïté le point kilométrique de montée de la roue sur le rail : pk 190,200.

En application des normes de maintenance de la voie, le niveau des différents paramètres peut se résumer dans le tableau suivant (VO = valeur d'objectif ; VA = valeur d'alerte ; VI = valeur d'intervention ; VR = valeur de ralentissement).

	<i>Valeur d'objectif</i>	<i>Valeur d'alerte</i>	<i>Valeur d'intervention</i>	<i>Valeur de ralentissement</i>
écartement maxi			X	
écartement moyen		X		
gauche sur 3 m		X		
écart de dévers		X		
dévers prescrit – dévers réel		X		
nivellement longitudinal	X	X		
usure du champignon du rail	X			
dressage	X			

Aucun défaut, en regard des normes voie, nécessitant l'arrêt des trains ou la mise en place de ralentissements n'a été identifié dans la zone considérée ; aucun constituant de la voie n'a été trouvé en défaut.

Toutefois, c'est bien à proximité immédiate du pk 190,200 que le plus grand nombre de paramètres en écart se retrouvent simultanément.

4.8- Etudes de dynamique ferroviaire : modélisation

Les analyses "voie" et "wagon" réalisées précédemment n'ont pas mis en évidence un quelconque paramètre hors de sa plage de validité, qui aurait nécessité la réforme du wagon ou l'imposition d'un ralentissement de la vitesse de circulation, en attente d'une intervention corrective rapide.

De ce fait, la cause réelle du déraillement restait à identifier, en dehors des facteurs de non conformité habituellement en cause. C'est la raison pour laquelle le BEA-TT a sollicité l'équipe de dynamique ferroviaire de l'INRETS tandis que la SNCF sollicitait de son côté l'Ingénierie du Matériel (CIM).

Logiciels de simulation utilisés : les logiciels de simulation (VOCOLIN pour l'INRETS et VOCODYM pour le CIM-SNCF) prennent en compte quasiment tous les paramètres (voie et wagon) qui ont été énumérés précédemment.

- Pour le bogie : données générales du bogie « standard Y 25 », état des amortisseurs à friction « Lenoir », parallélisme des essieux, géométrie de la caisse, déséquilibre de la charge, profils de roue, modélisation des suspensions primaires, modélisation du frottement sec à la crapaudine, du centre de gravité décalé, du déséquilibre de charge gauche-droite, des jeux décalés aux lisoirs.
- Pour la voie : profil des rails, paramètres extraits des relevés Mauzin, défaut métallurgique du pk 190,205, variation du profil de rail (pk 190,179 à 190,185), défauts de danse, raideur de la voie, état de graissage de la voie (niveau d'adhérence).

Résultats des simulations : Les logiciels VOCOLIN et VOCODYM évaluent les rapport Y/Q^* des efforts transversaux et verticaux au point de contact roue-rail. Vocolin permet en outre de déterminer les points de contact roue-rail. Une valeur du rapport Y/Q voisine de 1 (ou supérieure) est jugée indésirable car susceptible dans certaines conditions de provoquer un déraillement ; la détermination des points de contact roue-rail permet d'apprécier si l'essieu sort des rails ou non. En effet, une valeur du rapport Y/Q même élevée peut ne pas se traduire par un déraillement de l'essieu concerné si l'impulsion imprimée à l'essieu est trop peu « énergétique ».

Les calculs effectués aboutissent à des niveaux Y/Q voisins de 0,5 (annexe 15). En dégradant certains paramètres par rapport à la réalité des mesures, le rapport Y/Q peut augmenter à 0,6, voire 0,7. En tout état de cause, le calcul des points de contact roue-rail ne permet pas à la simulation de conclure à un déraillement avec les valeurs retenues pour les paramètres du modèle

Le déraillement s'étant néanmoins produit, il en résulte que certains facteurs de ce déraillement ne sont pas exactement reflétés par le modèle. Le comportement du bogie modélisé Y 25 n'est pas totalement maîtrisable. Son architecture basée sur de nombreux mécanismes non linéaires suggère qu'il n'est pas possible d'observer un comportement stable ou périodique garanti. Il est possible qu'une combinaison de paramètres non explorée à ce jour puisse entraîner des mouvements de lacet plus violents. Les modèles n'étant pas linéaires, il n'est pas suffisant d'extrapoler un comportement à partir d'un balayage de paramètres sur deux ou trois valeurs. On peut noter que les paramètres sur lesquels il subsiste des incertitudes portent sur le wagon plutôt que sur la voie dont les caractéristiques étaient aisément mesurables. Des oscillations plus fortes auraient pu être obtenues avec d'autres valeurs pour certains paramètres mal connus relatifs au wagon (inerties, centre de gravité du chargement) dont les paramètres mesurables apparaissent conformes.

En ce qui concerne le wagon, les inerties, mal connues avec ce wagon et ce chargement, et les coefficients de frottement des amortisseurs Lenoir restent des paramètres d'ajustement larges (on peut remarquer que le chargement tient dans quatre trémies disposées de part et d'autre de l'axe longitudinal du wagon, induisant ainsi un fort rayon de giration). Les simulations sur le bogie ont montré que même dans l'hypothèse d'un amortisseur Lenoir de l'essieu (1-2) hors d'usage, l'essieu reste bien positionné dans son logement de boîte et se présente très correctement par rapport à l'axe de la voie tandis que la valeur du rapport Y/Q peut croître d'un dixième, ce qui ne paraît pas décisif.

En ce qui concerne la voie, les mesures géométriques (relevé Mauzin numérisé de septembre 2005) sont antérieures au déraillement d'une période de neuf mois.

Les paramètres dynamiques simulés présentent dans tous les cas un maximum local au pk signalé du déraillement, conséquence de plusieurs défauts de voie périodiques successifs, en particulier de dressage, signalé par le relevé Mauzin. La longueur d'onde de ce défaut, de 20 à

* Terme figurant au glossaire

25 mètres, est proche de la longueur d'onde de Klingel, donnée par la conicité standard d'une roue de wagon sur un rail standard, c'est à dire la longueur d'onde du lacet naturel d'un essieu dans la voie.

Les graphiques du paragraphe 6.2 font bien apparaître les défauts numérotés de 1 à 5, le 5ème défaut étant simultané au gauche G3 le plus important de la zone de voie, tandis que le wagon subit encore l'effet centrifuge de la circulation en sortie de courbe.

L'étude de l'INRETS met en évidence un lien étroit entre les pointes d'effort transversaux Y/Q et la géométrie de la voie, compte tenu de l'état du wagon que l'on peut considérer comme « conforme » (notamment, bonne géométrie des bogies et bonne géométrie des essieux n'ayant que six mois de service).

L'étude de l'INRETS aboutit à deux conclusions :

1- première conclusion : le modèle met en évidence une résonance entre la succession régulière de défauts de voie et les oscillations normales de lacet de la caisse du wagon, phénomène susceptible d'amplifier les oscillations dynamiques.

2- deuxième conclusion : le modèle montre que, vis à vis des oscillations dynamiques croissantes suscitées par les défauts de la voie, le point le plus critique se situe précisément à l'endroit du déraillement.

Cette succession de défauts périodiques a donc certainement joué un rôle important dans la production du déraillement.

Le rapport complet élaboré par l'INRETS est consultable sur le site internet du BEA-TT, conjointement au présent rapport.

4.9- Évènements antérieurs de nature comparable, sur l'artère Nord-Est dans le secteur Ardennes-Meuse

4.9.1- Chauvency (pk 201,353) le 04 août 1990

Le train 455142 déraille en pleine voie de ses douze derniers wagons et obstrue les deux voies. Les causes « exploitation » et « voie » ont été écartées ; les pièces expertisées des wagons n'ont pas permis de mettre en évidence la cause du déraillement. L'état de maintenance des wagons ne présentait pas d'anomalie. La surveillance des trains en marche de Carignan n'a rien détecté ; aucune détection par le détecteur de boîtes chaudes de Montmédy.

4.9.2- Sedan (pk 158,84) le 11 février 1991

Un train de bobines de tôle en provenance de Dunkerque déraille par le désaxement du chargement du deuxième wagon. Les bobines avaient été chargées sur des wagons à berces ne disposant pas de couverture (bobines transportées en gardant un axe horizontal). La neige ayant recouvert les berces peu avant le chargement, celle-ci s'est prise en glace sous l'effet de la compression. Du fait des trépidations et de la force centrifuge, les bobines se sont déplacées et déportées vers les bords des wagons. Le deuxième wagon a ainsi perdu une bobine, basculé puis déraillé, entraînant le déraillement et la destruction des 24 wagons suivants. Le poste d'aiguillage de Sedan a été détruit, ainsi que la voie sur 300 m.

Les conditions du chargement sont en cause.

4.9.3- Liart-Tournes (pk 37,35) le 21 août 1991

Un wagon trémie à essieux, vide, déraille d'un train en provenance de Dunkerque. L'expertise du wagon montre que son châssis est faussé et que les suspensions sont mal appariées,

ce qui a causé le délestage de la roue la moins chargée.

4.9.4- Longuyon (pk 230,62) le 23 avril 1995

Un wagon trémie à essieux, vide, déraille d'un train en pleine voie ; l'essieu arrière déraille en sortie d'une courbe de 435 mètres de rayon. L'essieu avant déraille à son tour un kilomètre plus loin. Le train est arrêté du fait de la rupture d'attelage provoquée par ce wagon déraillé. Le train circulait à la vitesse de 70 km/h sachant que la vitesse de ligne était limitée à 80 km/h en raison d'un écartement de la voie supérieur à 1 455 mm.

4.9.5- Montmédy (pk 207,225) le 06 mai 1995

Le 9ème wagon de queue d'un train de fret déraille - essieu (1-2) - voie 1 sur un kilomètre et engage le gabarit de la voie 2. Le train s'est arrêté sur initiative du conducteur qui a ressenti une réaction longitudinale et vu un fort dégagement de poussière de ballast. Il n'y a pas eu rupture d'attelage et, par conséquent, pas de rupture de la conduite d'air du frein. A cet endroit-là, la voie présente un gauche G3 (gauche sur 3 m) de 18 mm et un écart de dévers de 23 mm. Une maintenance corrective était programmée sur cette zone pour le 15 mai 1995.

Ces cinq cas de déraillement de wagons représentent des causes diverses et ne sont pas à corréler - a priori - avec le présent déraillement. Néanmoins, le déraillement de Chauvency (août 1990) serait peut-être à rapprocher du cas présentement étudié, si le relevé Mauzin de la voie concernée était accessible.

4.10- Mesures prises à la suite de l'accident

4.10.1- Mesures au niveau régional

- le rail au pk 190,205 - 190,210 a été remplacé dans la nuit du 09 au 10 juillet 2006, en application du programme prévoyant le remplacement du coupon de rail où se situe le défaut éclissé (fissuration transversale codifiée « 4 172 ») ; le délai maximal de maintien en voie était le 13 septembre 2006.
- après remise en service de la voie 1, le 23 juin 2006, la vitesse de circulation sur cette voie a été limitée à 40 km/h du pk 190,175 jusqu'au pk 200,204 jusqu'au 10 juillet 2006.
- entre les pk 190,000 et 190,525 subsiste une limitation temporaire de vitesse de 80 km/h toujours en vigueur à ce jour.
- l'agent circulation de Carignan n'a pas pris toutes les mesures immédiates de restriction de circulation (notamment, pas d'appel radio sol-train vers le conducteur du train 72 187). Un rappel a été effectué auprès de tous les agents circulation de la région de Reims lors des « entretiens sécurité ». Enfin, une fiche « Rex » a été établie à l'intention de tous les agents.
- un rappel de formation a été lancé auprès des conducteurs des dépôts de l'Est, au cours des accompagnements en ligne, pour préciser la conduite à tenir lors d'une coupure d'urgence de la tension électrique.

4.10.2- Mesures au niveau national

Aucune mesure concernant les règles de maintenance de la voie n'a été prise au moment de la rédaction de ce rapport.

5- Déroulement de l'accident

5.1- La circulation du train

Le train 72 187 transportant du minerai de fer circule le 24 juillet 2006 entre Dunkerque (port où le minerai a été chargé) et Dieulouard en Lorraine près de Pont-à-Mousson. Il est constitué d'une rame de 44 wagons de « particuliers » du type « trémie », qui circule sur la voie 1 entre Charleville et Longuyon avec une vitesse régulière de 100 km/h. Ce train est classé « hyper-lourd » du fait de sa masse d'ensemble (3 658 tonnes), ce qui nécessite que les wagons soient équipés d'un attelage renforcé « 135 tonnes » ; sa longueur de 620 mètres respecte la longueur maximum autorisée de 750 m. Chaque wagon est chargé de 60 tonnes de minerai hormis le dernier qui n'est chargé qu'à 46,7 tonnes pour ajuster la charge réelle au chargement contractuel.

Le poste de chargement du minerai à Dunkerque est situé dans la zone portuaire « QPo ». Cette installation déverse le minerai dans chaque wagon par gravité, son positionnement se situant dans l'axe de la voie.

Le train a été correctement constitué : les attelages entre wagons sont réalisés conformément à la règle (tampons en contact et vis du tendeur serrée de trois tours de manille), les manettes des dispositifs vide/chargé sont en bonne position.

La section de ligne Charleville-Longuyon sur laquelle circule ce train, au plan de l'importance de son trafic, est classée au groupe 3 (sur un total de 9 groupes) et bénéficie d'un entretien normal en rapport avec cette classification UIC.

Les conditions météorologiques sont normales en cette période de fin de printemps : temps ensoleillé et sec, température moyenne de 23°C et température maximale de 30°C.

5.2- Les conditions du déraillement.

Dans le département des Ardennes, après que le train ait franchi la gare de Carignan où l'agent circulation a aussi en charge d'effectuer la « surveillance des trains en marche », celui-ci ne constate aucune anomalie sur le train en circulation. En sortie d'une courbe à droite de 676 mètres de rayon, sur la commune de La Ferté sur Chiers, le wagon de queue déraille de son bogie avant au pk 190,200 vers l'extérieur de la voie en courbe. L'essieu avant s'est déchargé dans le raccordement parabolique de sortie de courbe : la roue gauche du premier essieu (roue 1) est montée sur le champignon du rail, a roulé ainsi 16 mètres, comme l'a montré la trace laissée par le boudin, puis est retombée de l'autre côté du rail, roulant alors sur les têtes de traverses et les tirefonds. La sortie de voie de l'essieu (1-2) du bogie a été quasi immédiatement suivie de la sortie de voie du deuxième essieu de ce même bogie, celui-ci roulant sur les têtes de traverses et le ballast côté piste, endommageant au passage le platelage du PN 31 (pk 191,422) ainsi que celui du PN suivant. Au pk 198,700, le bogie déraillé rencontre un rail en dépôt sur le ballast le long de la voie ; ce rail pivote et est projeté à l'intérieur de la voie en provoquant le déraillement du bogie arrière du côté de l'entrevoie. Le wagon est alors déraillé des deux bogies, l'un à l'extérieur de la voie, l'autre à l'intérieur de la voie et roule ainsi en « crabe » en engageant le gabarit de la voie 2.

Pk = 190,200	Pk = 198,700	Pk = 200,130
La roue 1 monte sur le champignon du rail	La roue 1 heurte le rail en dépôt latéralement. Le coupon est projeté à l'intérieur de la voie, il est heurté par les essieux (5-6) et (7-8). Le bogie AR déraile côté entrevoie.	La queue du train s'arrête au pk 200,130. Le train a parcouru 9 930 m avec le wagon de queue déraillé.(tête du train au pk 200,750).

5.3- La gestion du déraillement

Le conducteur du train ne se rend compte de rien car le surcroît de résistance à l'avancement est marginal par rapport à l'énergie de traction nécessaire pour tirer ce train de 3 658 tonnes (le train est tiré par deux locomotives de type BB 27 000, capables d'une puissance de $4\,200\text{ kw} \times 2 = 8\,400\text{ kw}$). Comme il n'y a pas de rupture d'attelage, il n'y a pas de mise à l'atmosphère de la « conduite générale » d'air comprimé et donc pas de freinage automatique du train.

La chronologie des événements liés à la circulation dangereuse s'établit ainsi, après que le train soit passé en gare de Carignan à 9 h 49 :

9h57'	pk=190,200	déraillement du bogie (1-4) du dernier wagon
9h58'	pk=191,500	des agents de la voie, en attente d'effectuer des soudures en voie, à proximité du PN 1 (pk 191,498) sont caillassés par les projections de ballast dues au wagon déraillé roulant dans le ballast.
10h00'	pk=194,830	l'agent circulation de Carignan est avisé, via le téléphone du PN31, par un retraité SNCF puis par les agents voie, de la circulation dangereuse.
		l'agent circulation de Carignan ferme les signaux de la voie 1.
10h00'24"	pk=195,500	l'agent circulation de Carignan avise le COGC* de Reims.
10h01'54"	pk 198,000	fin du canton radio sol-train de Carignan et début du canton radio sol- train de Montmédy.
10h02'00"	pk=198,166	les agents voie utilisent le téléphone d'alarme du pk 191,498 pour demander au régulateur sous-station la coupure d'urgence de la HT.

* Terme figurant dans le glossaire

10h02'19'	pk=198,700	le deuxième bogie du wagon de queue du train déraile → le gabarit de la voie 2 est engagé.
10h02'48"	pk=199,500	limite de joignabilité par la radio sol-train du train depuis le canton radio de Carignan (et de la région SNCF de Reims) (la première antenne émettrice du canton radio de Montmédy retransmet un appel radio du canton précédent, soit une augmentation de portée radio de 1 500m). le régulateur du COGC de Reims appelle par la radio sol-train le conducteur du train 72 187, sans résultat, car le train est au delà de portée radio pour cet opérateur.
10h03'06"	pk=200,000	le conducteur du train 72 187 déclenche le freinage de son train
10h03'46"	pk=200,750	le train s'arrête (tête du train au pk 200,750 et queue du train au pk 200,130. Le gabarit de la voie 2 a été engagé sur 1 430m.

5.4- Les conséquences du déraillement

Entre les deux pk 190,200 et 200,130 ne se trouve aucun appareil de voie qui aurait pu bloquer le wagon déraillé dans sa progression et probablement provoquer une rupture d'attelage, et par voie de conséquence, déclencher le freinage d'urgence par mise à l'atmosphère de la conduite d'air du train.

Ce déraillement a provoqué l'interruption de la circulation sur les deux voies. L'avant du train est dégagé rapidement (les deux locomotives et 42 wagons) ; le 43ème wagon (non déraillé) et le wagon incriminé restent sur place, jusqu'à ce que le relevage soit réalisé. Ces deux wagons sont ensuite acheminés vers la gare de Montmédy où ils sont stockés sur voie de garage et où les premières expertises « wagon » peuvent être réalisées.

5.5- Risques encourus.

Le wagon déraillé a engagé le gabarit de la voie sur 9 930 mètres (extérieur de la voie 1), et aurait pu de ce fait heurter des piles de pont ou des parois de tunnel ou des quais voyageurs ; par chance, rien de tel ne s'est présenté jusqu'au moment de l'arrêt du train. Ce même wagon a engagé la voie 2 sur 1 430 mètres occasionnant un risque de heurt avec un train croiseur ; par chance aucune circulation ne s'est présentée, et dans le cas présent, l'agent circulation de Montmédy avait déjà fermé l'accès à la voie 2 au niveau de Montmédy. Le courant HT étant aussi coupé voie 2, empêchait de ce fait la circulation ferroviaire voie 2.

6- Analyse et orientations préventives

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

- l'état des wagons, notamment dans l'assurance à avoir que le système d'amortissement à friction est effectif sur l'ensemble des essieux,
- l'état de la voie, notamment au plan de la géométrie,
- l'état de graissage de la voie.

6.1- Analyse relative à l'état du wagon.

L'expertise réalisée sur le wagon déraillé a porté sur 30 critères, à prendre en considération lorsque la tenue en ligne est suspectée. La conformité est obtenue pour 27 critères. Au titre des non conformités ont été relevées :

- la géométrie des essieux (1-2) et (3-4),
- l'amortissement « Lenoir » pour l'essieu (1-2), tant pour la cote « A » que pour la verticalité du bloc d'appui de la roue 1.

Le caractère quasi-neuf des essieux (pose sous le wagon six mois auparavant et la conformité des outils de reprofilage ayant été attestée) a été vérifié lors de l'expertise, postérieure au déraillement, pour les essieux (5-6) et (7-8). On peut affirmer que les essieux (1-2) et (2-4) ont été dégradés par les chocs du déraillement, en roulant près de 10 km sur le ballast et les têtes de traverses, qui ont érodé le sommet des boudins sans d'ailleurs dégrader les tables de roulement. En outre, la roue 1 de l'essieu (1-2) a heurté le rail en dépôt du pk 198,700 et a été décalée de quelques millimètres sur sa portée de calage, ce qui explique l'écartement des faces internes excessif.

L'amortissement « Lenoir » est en défaut pour l'essieu (1-2) : la cote « A » entre le chapeau des ressorts de suspension et le bloc d'appui du longeron a été trouvée nulle et l'équerrage du bloc d'appui pour la boîte 1 a été trouvé en défaut, tandis que les autres cotes d'équerrage sont conformes : il est plausible de considérer que le bloc d'appui du longeron de bogie correspondant à la roue 1 a été déformé par le choc subi au pk 198,700, ce qui expliquerait que cette cote ait été trouvée nulle après l'accident.

Toutefois, concernant cet amortissement « Lenoir », le démontage complet du système anneaux-tourillons-poussoirs a montré que le poussoir correspondant à la roue 1 était légèrement inférieur à sa cote nominale ; mais si la cote « A » était positive, l'amortissement pour cette roue 1 était réel. L'influence négative qui pourrait s'exercer sur la stabilité du bogie provient de l'incertitude sur cette cote A initiale ajoutée à la cote du piston, risquant de produire un déchargement de la diagonale (1-4). Nous avons noté aussi dans l'historique de maintenance, qu'un ou plusieurs « jeux Lenoir » (05 janvier 2005 et 29 décembre 2005) auraient été trouvés insuffisants, la réparation consécutive ayant dû porter remède sans que l'on ait une certitude absolue sur le niveau de l'intervention. Le document « DT-AO 745 Prise en charge et saisie des informations pour le suivi et le comportement en service du matériel remorqué fret » ne prévoit pas de mentionner la position de la boîte d'essieu concernée ; de ce fait, les opérateurs qui doivent renseigner les bases de retour d'expérience ne peuvent désigner précisément l'emplacement du ou des amortisseurs réparés, et par voie de conséquence, le suivi de l'efficacité de l'intervention est impossible.

La traverse pivot du bogie (1-4) a été observée faussée, par inclinaison vers l'extrémité du wagon. La symétrie de la traverse n'est pas affectée. Les référentiels wagons ne traitent aucunement de ce cas et sachant que les mesures de pesage roue par roue et les mesures de couple de rotation bogie-caisse se sont révélées conformes (les lisoirs de caisse ont joué correctement leur rôle), il n'y a

pas de suites à donner à cette observation.

Le châssis du wagon présente un gauche de 7mm et n'a fait l'objet d'aucune observation défavorable antérieurement. Un même gauche de châssis de 7 mm a été mesuré sur le châssis du wagon témoin wi (wagon roulant le plus de la population) sans que celui-ci soit critiquable. Les normes de maintenance wagon, en l'absence d'accident concernant le châssis ou d'observation visuelle défavorable, ne prévoient pas de redressage en maintenance du châssis pour de telles déformations dès lors que le critère des jeux aux lisoirs est respecté.

Finalement, ce wagon présente globalement de bonnes caractéristiques géométriques.

Recommandation R1 (SNCF) : Lorsqu'un wagon est traité en réparation accidentelle et qu'une intervention est nécessaire sur le système d'amortissement Lenoir (détection d'une cote « A » insuffisante), spécifier le numéro de la boîte d'essieu concernée, aussi bien au plan de l'expertise initiale que de la réparation.

6.2- Analyse relative à la géométrie de la voie

Les résultats de l'expertise de la géométrie de la voie par rapport aux « normes voie » aux alentours du pk 190,200 ont été exposés aux paragraphes 4.4.2 et 4.4.3.

Aucun des défauts de la voie ne constitue une non conformité appelant une intervention immédiate selon le référentiel en vigueur ; et aucun d'entre eux, pris isolément, ne peut expliquer le déraillement. Nous sommes amenés à prendre en considération, au delà des « normes voie », l'état réel de la voie tel qu'il est décrit dans le relevé « Mauzin ».

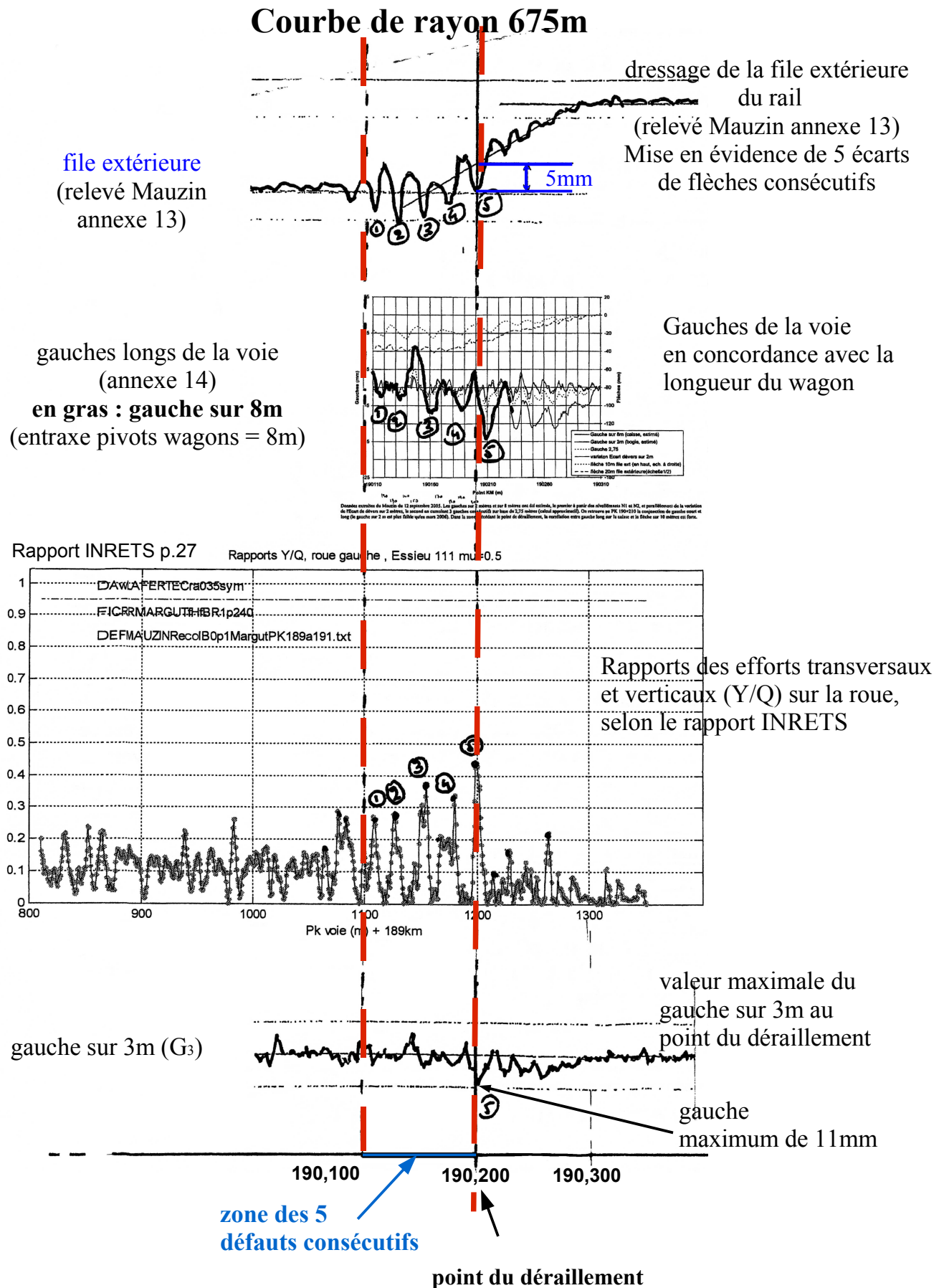
Le facteur décisif apparaît résider dans l'effet dynamique des défauts régulièrement espacés, en résonance avec les oscillations de la caisse du wagon.

Le dressage de la voie, bien qu'étant dans les normes, fait apparaître une succession de 5 défauts consécutifs ayant approximativement la même longueur d'onde (donc correspondant à la même fréquence pour le wagon circulant à 100 km/h) ; le déraillement a eu lieu sur le dernier défaut. Ces défauts successifs ont pu entraîner des sollicitations transversales des bogies et de la caisse et par voie de conséquence des efforts Y à la roue guidante. Une amplification des sollicitations a pu se produire si l'une des fréquences de caisse correspondait à la longueur d'onde des défauts (fréquence de lacet ou de roulis). La position du wagon en queue de rame a pu être un facteur amplifiant les mouvements du sens transversal.

L'analyse fine du relevé Mauzin du 29 mars 2006 (figurant en annexe 13) met en évidence, entre le pk 190,110 et un point situé après le déraillement (190,210), une corrélation forte entre le gauche estimé sur la caisse du wagon (entre-axe des pivots de 8 m) et la flèche en dressage sur 10 mètres. A noter que les pics de flèches correspondent à des défauts de gauche négatifs générateurs de décharge de roues. Cette situation alimente l'hypothèse d'un couplage entre les réactions du wagon à ces types de défauts. L'annexe 14 montre dans la zone précédant le point de déraillement, la corrélation entre le gauche long sur la caisse du wagon et la flèche sur 10 mètres.

Il est donc plausible que la succession de défauts couplés de dévers et de dressage, associés à des défauts de gauche et d'écartement, avec une longueur d'onde de l'ordre de 20 mètres puisse entraîner des réactions du wagon suffisantes et apporte une contribution déterminante au déraillement (la simulation numérique aboutissait à un résultat plus mesuré).

Paramètres du système en corrélation avec le déraillement



Le schéma ci-dessus rassemble les paramètres explicatifs du déraillement. Le « scénario technique » peut se décrire de la façon suivante :

- la file de rail externe imprime 5 impulsions transversales au wagon,
- ces impulsions transversales provoquent un roulis du wagon qui engendre un déchargement alterné des roues gauches et droites sur le rail,
- le gauche sur 8 mètres de la voie présente les mêmes défauts répétitifs : il y a amplification du mouvement de roulis du wagon, et par voie de conséquence, des charges alternées roues droites/roues gauches,
- l'étude INRETS quantifie les efforts roue/rail : la roue 1 du wagon présente un rapport d'efforts transversaux/verticaux périodiquement croissant (Y/Q de (1) à (5). Au pk 190,200 le Y/Q (5) est maximum. Cette étude confirme que la succession régulière des défauts de dressage et de dévers crée en ce point une situation dynamique particulièrement critique,
- c'est à ce même pk 190,200 de la voie que se présente un gauche sur 3 m (impactant le bogie), qui est le plus important (11 mm) ; cet abaissement localisé du rail permet dans ces conditions la montée de la roue 1 sur le champignon du rail.

Cet aspect particulier de défauts répétitifs observés sur le relevé Mauzin n'est pas pris en compte dans les normes actuelles de conformité de la voie. Cette situation a certainement joué un rôle décisif dans le déraillement.

Recommandation R2 (SNCF, RFF) : Rechercher, sur le réseau ferré national, les situations de géométrie de la voie semblables à celle du pk 190,200 de l'artère Nord-Est en juin 2006 (succession rapprochée et régulière de défauts de dressage et de dévers susceptible d'entraîner un effet de résonance dynamique ; présence simultanée d'un défaut de gauche en valeur d'alerte s'ajoutant au gauche inhérent au raccordement parabolique de sortie de courbe).

Elaborer les règles d'intervention sur la voie pour corriger ces situations (reprise du dressage selon des valeurs quantifiées après détection de défauts de dressage répétitifs et périodiques en sortie de courbe).

On peut s'interroger en outre sur le cas exceptionnel présenté par ce déraillement et chercher les moyens de s'en prémunir vis à vis d'autres futures situations semblables où, de plus, le matériel roulant pourrait se trouver dans un état géométrique plus défavorable. Il est imaginable, en utilisant les relevés Mauzin numérisés, de bâtir des programmes numériques détectant des conjonctions de défauts de dressage et de gauche, semblables à celle s'étant présentée à La Ferté sur Chiers le 13 juin 2006. De telles situations, détectées par les engins de mesure, seraient ensuite analysées dans la totalité de leurs paramètres pour apprécier l'opportunité d'une action de maintenance corrective. Il serait par ailleurs utile, afin de faire progresser la connaissance dans ce domaine, de pouvoir comparer, sur des voies porteuses de défauts périodiques, les résultats issus des modèles VOCOLIN et VOCODYM et ceux issus d'essais en ligne réalisés avec des wagons équipés d'essieux de mesure.

6.3- Etat de graissage de la voie de l' « artère Nord-Est »

Le paragraphe 4.7.2 a exposé l'état de ce facteur pour la zone de voie concernée, qui impacte la qualité du contact roue-rail. L'étude numérique a quantifié l'amélioration possible du paramètre Y/Q (paramètre caractérisant le risque pour les véhicules que les efforts transversaux deviennent prépondérants) mais a montré que ce facteur n'était pas prépondérant pour expliquer le déraillement ; une voie bien graissée, de catégorie de graissage A, est un élément favorable surtout

pour réduire l'usure des rails.

Le graissage de la voie est obtenu par l'action des engins moteurs équipés des dispositifs idoines. *Un réexamen de l'efficacité de ce dispositif s'avère nécessaire.*

6.4- Réactivité des acteurs ferroviaires pour limiter les conséquences d'un tel déraillement

Le scénario du déraillement amène à se demander si le conducteur aurait pu être alerté plus tôt.

Selon le référentiel SNCF « IN 1502 manuel de référence -incidents de circulation- fiche 9, page 2 », l'agent circulation, qui est avisé qu'un train circule dans des conditions dangereuses, doit :

- arrêter ou faire arrêter d'urgence ce train,
- arrêter ou faire arrêter d'urgence et retenir les circulations se trouvant sur la voie voisine ou sur la voie venant d'être parcourue par le train,
- Aviser le COGC.

Comme le montre la chronologie ci-dessus, à 10 h 00, l'agent circulation de Carignan a été avisé de la circulation dangereuse du 72 187 : il a alors fermé les signaux de la voie 1 et il a avisé le COGC de Reims.

La limite des cantons radio de Carignan et de Montmédy se situe au pk 198,000. Un train quittant le canton radio de Carignan est joignable à partir de la première antenne émettrice du canton suivant (canton de Montmédy), soit une distance d'environ 1 500 mètres depuis la fin du canton de Carignan ; depuis la région SNCF de Reims, le train est donc joignable jusqu'au pk 199,500 où il est passé à 10 h 02' 48".

Les éléments d'information en provenance de la région de Reims relatent que le régulateur du COGC de cette région n'a pas pu joindre le conducteur du train par la radio (appel vraisemblablement postérieur à 10 h 02' 48"), car ce dernier se trouvait au delà de la limite de joignabilité radio.

L'agent circulation n'a pas fait usage de la radio sol-train pour alerter le conducteur du train ; il disposait en théorie de deux minutes et quarante huit secondes pour le faire avant que le train ne soit plus joignable depuis le canton radio de Carignan.

L'agent circulation de Carignan a tenté selon lui d'informer par téléphone son homologue aval de la gare de Montmédy, sans résultat. Le régulateur du Centre Opérationnel de Reims a tenté à son tour de contacter le conducteur du train, mais celui-ci se trouvait déjà sur la Région de Metz-Nancy, dans l'autre canton radio de Montmédy différent de celui de Carignan. Finalement, la coupure d'urgence de la tension électrique a été réalisée après l'appel des agents voie du pk 191,498 à 10 h 02 (coupure du courant de traction qui a été effectuée sur les deux voies 1 et 2).

Pendant tout ce temps-là, il n'y a pas eu de circulation engagée sur voie 2 entre Montmédy et Carignan, le dernier train pair à avoir été engagé étant le 72 278 pointé à Carignan à 09 h 22.

De même, des agents de maintenance de la voie ont vu s'approcher le train dont le wagon de queue était déraillé, et n'ont pas fait au conducteur les signaux de détresse réglementaires avec leurs bras. Un rappel de sensibilisation aux agents pouvant se trouver dans ces situations est utile à faire.

Recommandation R3 (SNCF, RFF) : rappeler aux agents concernés directement par la circulation des trains, pour les situations d'urgence, l'utilité de la radio sol-train et de la mise en oeuvre des gestes d'urgence pour ceux présents sur les voies.

7- Conclusions

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

En première observation (matériel roulant, voie, conditions de circulation), un tel accident apparaît inexpliqué sur la base des référentiels habituellement utilisés et aurait pu être classé « sans suites ».

A l'issue de l'enquête, les éléments suivants apparaissent comme « normaux » :

- la composition, le chargement et les conditions de traction du train sont corrects,
- la géométrie du wagon et son état d'entretien sont corrects dans leur ensemble, même si l'analyse de l'historique de maintenance peut laisser subsister un doute sur l'efficacité du système d'amortisseur à friction « Lenoir » pour des raisons de traçabilité insuffisante, et qui peut éventuellement se traduire par un léger déchargement de la diagonale (1-4) du bogie concerné.

Le facteur décisif réside très probablement dans l'effet dynamique des oscillations de caisse du wagon entrant en résonance avec les défauts de voie régulièrement espacés. La zone précédant le déraillement présente cinq défauts répétitifs de dressage et de dévers de la voie, distants de 20 mètres qui ont provoqué une excitation transversale du wagon. Ces défauts répétitifs sont par ailleurs situés dans un raccordement de sortie de courbe dont l'insuffisance de dévers naturelle a été accentuée par une pointe de gauche, ce qui accroît le risque de déraillement. Même si les défauts observés restent dans les valeurs tolérées par le référentiel voie lorsqu'on les considère isolément, leur succession peut expliquer le déraillement.

Un couplage dynamique s'est produit entre le wagon de queue (ne bénéficiant pas d'un serrage arrière de son attelage) et la voie : les excitations transversales périodiques de 20 mètres de longueur d'onde ont fait réagir le wagon, se traduisant par des oscillations transversales croissantes dans un raccordement de sortie de courbe et provoquant finalement une montée du boudin de la roue au point de gauche maximum (11mm).

Cette configuration de défauts de dressage et de dévers régulièrement répartis, à laquelle s'est ajouté un défaut de gauche, paraît avoir joué un rôle majeur dans la survenue du déraillement ; elle n'est pas prise en compte dans les référentiels actuels relatifs à la voie.

Par ailleurs, l'état de graissage des rails est insuffisant et entraîne un coefficient de frottement roue-rail important, qui a pu faciliter la montée de la roue sur le rail.

Enfin, si l'utilisation des moyens de communication sol-bord avaient été mieux utilisés, les dégâts causés à la voie auraient été moins importants.

7.2- Rappel des recommandations

Recommandation R1 (SNCF) : Lorsqu'un wagon est traité en réparation accidentelle et qu'une intervention est nécessaire sur le système d'amortissement Lenoir (détection d'une cote « A » insuffisante), spécifier le numéro de la boîte d'essieu concernée, aussi bien au plan de l'expertise initiale que de la réparation .

Recommandation R2 (SNCF, RFF) : Rechercher, sur le réseau ferré national, les situations de géométrie de la voie semblables à celle du pk 190,200 de l'artère Nord-Est en juin 2006 (succession rapprochée et régulière de défauts de dressage et de dévers susceptible d'entraîner un effet de résonance dynamique ; présence simultanée d'un défaut de gauche en valeur d'alerte s'ajoutant au gauche inhérent au raccordement parabolique de sortie de courbe).

Elaborer les règles d'intervention sur la voie pour corriger ces situations (reprise du dressage selon des valeurs quantifiées après détection de défauts de dressage répétitifs et périodiques en sortie de courbe).

Recommandation R3 (SNCF, RFF) : rappeler aux agents concernés directement par la circulation des trains, pour les situations d'urgence, l'utilité de la radio sol-train et de la mise en oeuvre des gestes d'urgence pour ceux présents sur les voies.

ANNEXES

- Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête
- Annexe 2 : Carte ferroviaire régionale
- Annexe 3 : Wagon déraillé en queue du train 72187
- Annexe 4 : Diagramme du wagon 84.87.6551.318-1
- Annexe 5 : Essieu (1-2) avec roue 1 décalée (wagon 6551.318)
- Annexe 6 : Etat du chargement du wagon, observé à Montmédy
- Annexe 7 : Pesage roue par roue du wagon 6551.318 par l'Agence d'Essai Ferroviaire
- Annexe 8 : Composition du train 72 187
- Annexe 9 : Vue de la voie 1 dans la zone de montée de la roue sur le rail
- Annexe 10 : Trace du boudin de roue sur le champignon du rail
- Annexe 11 : Coupon du rail de 6 mètres posé en voie en 1999
- Annexe 12 : Station de chargement des wagons en minerai de fer au poste de Dunkerque
- Annexe 13 : Relevé Mauzin de la voie 1, du 29/03/2006 dans la zone autour du pk 190,00
- Annexe 14 : Analyse des gauches du relevé Mauzin numérisé (zone de voie 1 autour du pk 190,200)
- Annexe 15 : Diagramme des efforts Y/Q roue-rail (extrait du rapport INRETS)
- Annexe 16 : Expertise détaillée du wagon 6551.318 à l'atelier de Tergnier

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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



BEA-TT 2006-006

DECISION

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

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

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

DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 susvisée, est ouverte concernant le déraillement d'un wagon de fret sur l'artère Nord-Est Valenciennes - Thionville survenu le 13 juin 2006 à La Ferté sur Chiers (08).

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

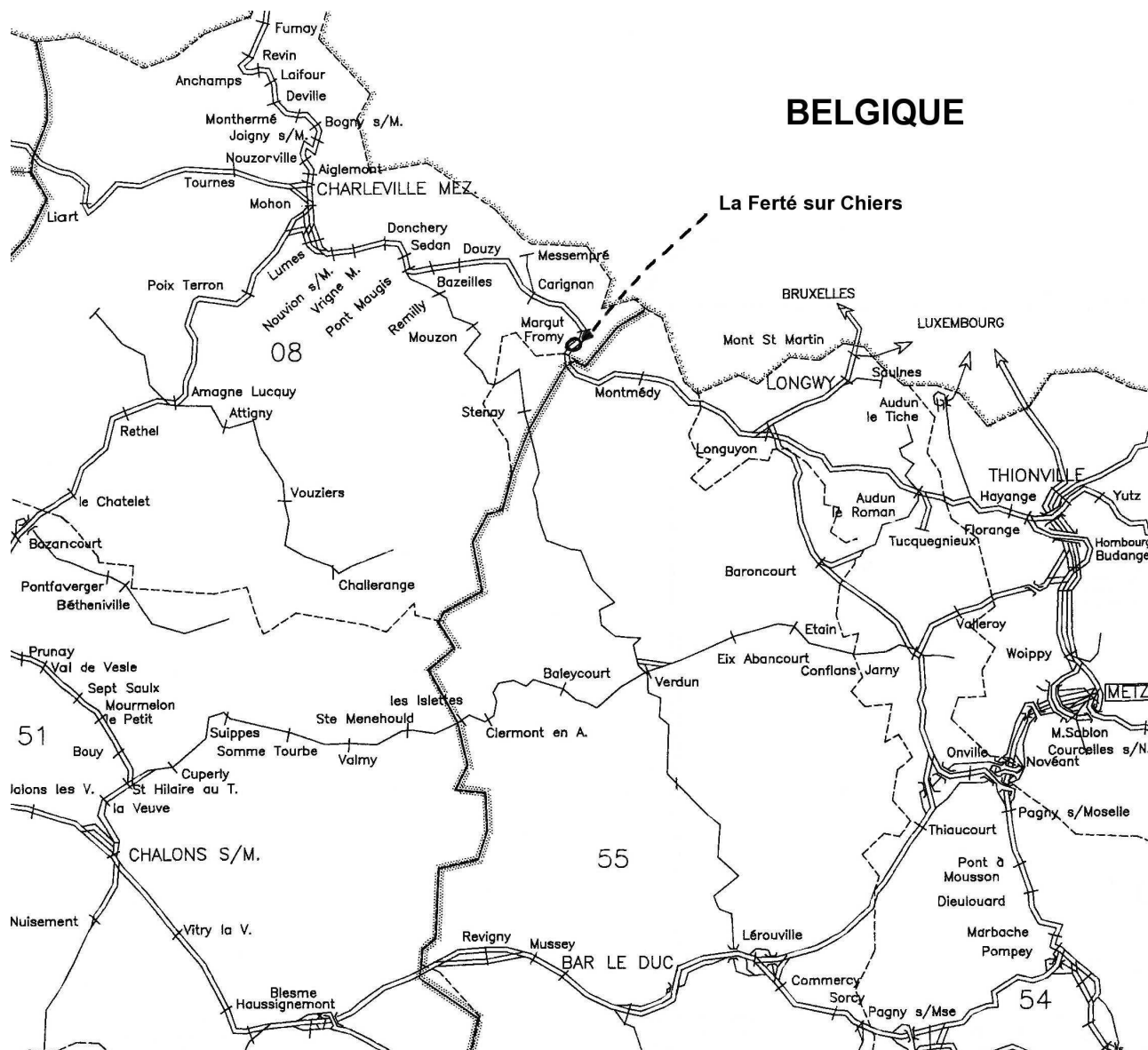
Fait à Paris, le 15 juin 2006

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

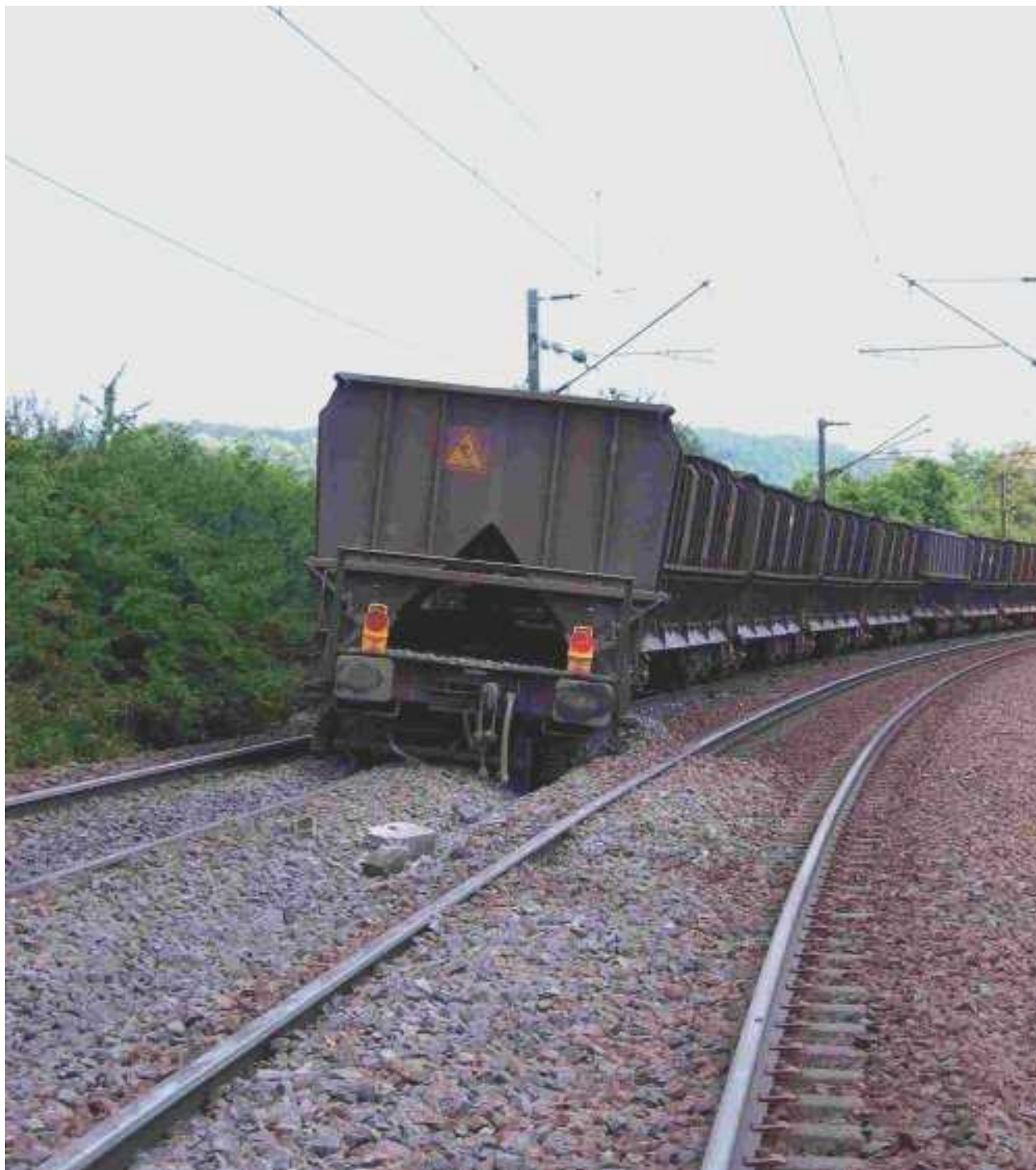
Dominique PERBEN

Annexe 2 : Carte ferroviaire régionale

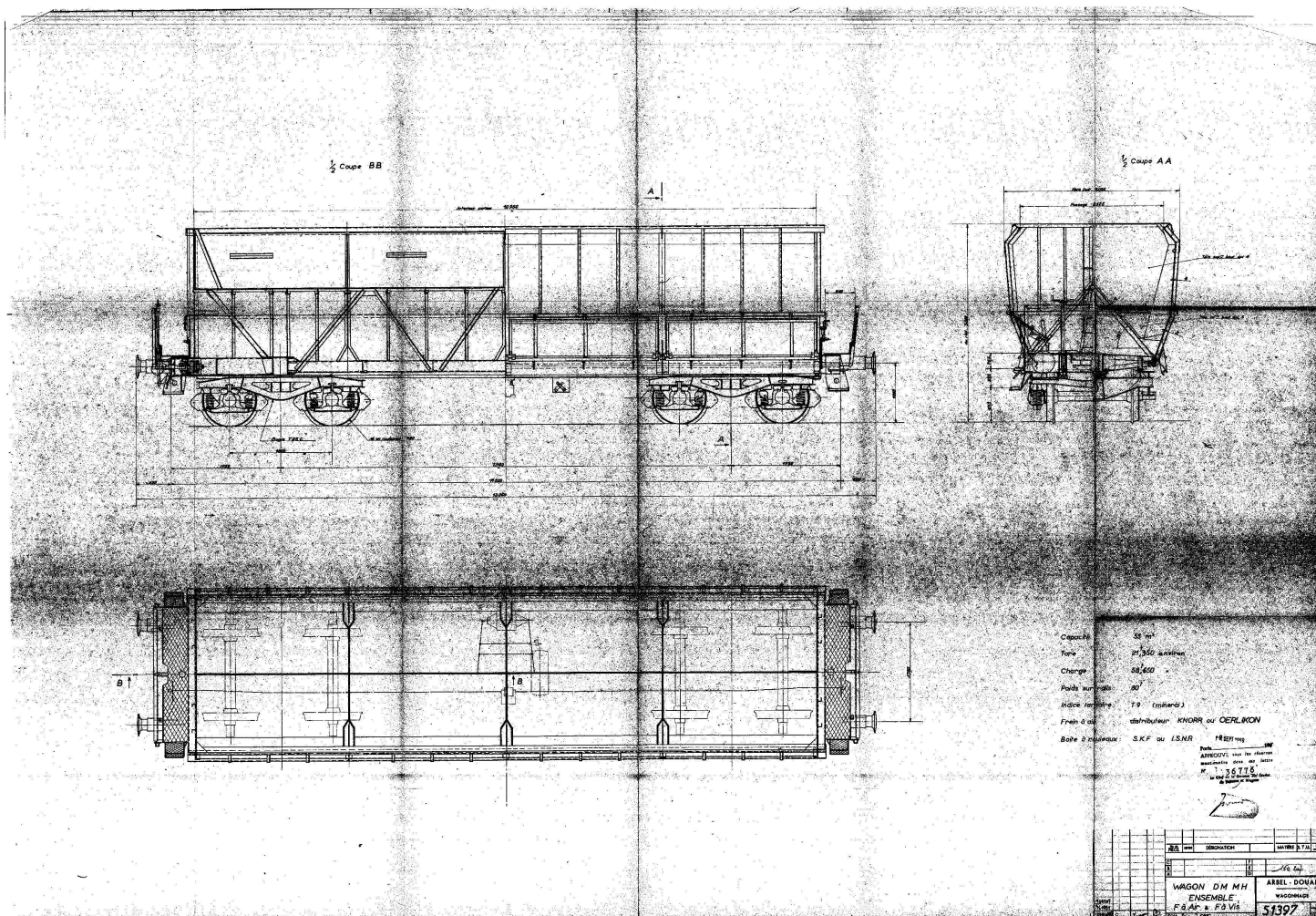
Lieu du déraillement du train 72187, sur l'artère Nord-est



Annexe 3 : Wagon déraillé en queue du train 72187



Annexe 4 : Diagramme du wagon 84.87.6551.318-1



Annexe 5 : Essieu (1-2) avec roue 1 décalée (wagon 6551 318)



Annexe 6 : Etat du chargement, observé à Montmédy



**Annexe 7 : Pesage roue par roue du wagon 84.87.6551.318 par l'Agence
d'Essai Ferroviaire**

<i>Pesée</i>	<i>Roue</i>	<i>Montmédy bogies d'origine</i>	<i>Différence (n+1)/n</i>	<i>Vitry bogies d'origine</i>	<i>Différence (n+1)/n</i>	<i>Vitry bogies de transport</i>	<i>Différence (n+1)/n</i>
Charge /roue (kN)	Roue 1 Q1	76,5	19	86,0	- 1,8	89,5	1,3
	Roue 2 Q2	95,5		87,8		88,2	
	Roue 3 Q3	87,0	1,7	77,8	- 19,9	82,8	- 3,9
	Roue 4 Q4	88,7		97,7		86,6	
	Roue 5 Q5	83,5	7,7	76,8	- 20,2	75,8	- 17,4
	Roue 6 Q6	91,2		97,0		93,3	
	Roue 7 Q7	85,7	- 0,8	91,9	14,1	81,9	- 10,1
	Roue 8 Q8	84,9		77,8		92,0	
Charge/essieu (kN)	Essieu 1-2	172,0		173,7		177,7	
	Essieu 3-4	175,7		175,5		169,4	
	Essieu 5-6	174,8		173,8		169,1	
	Essieu 7-8	170,6		169,7		170,6	
Charge/bogie (kN)	Bogie 1	347,8		349,3		347,2	
	Bogie 2	345,3		343,5		342,9	
Charge/file de rail (kN)	impaire	332,7	27,7	332,5	27,8	330,0	30,1
	paire	360,4		360,3		360,1	
Poids du véhicule(kN)		693,1		692,8		690,1	

Annexe 8 : Composition du train 72 187

Composition de la rame de 44 wagons constituant, avec les locomotives, le train au 13/06/07

<i>rang</i>	<i>Numéro de wagon</i>	<i>Charge maxi.(tonnes)</i>	<i>Tare(tonnes)</i>	<i>Charge nette(tonnes)</i>	<i>Poids- frein(tonnes)</i>
01	83.87.6552.619	61,3	21,1	60,3	52
02	84.87.6551.968	61,2	21,130	60,7	47
03	83.87.6552.084	61,4	21,0	60,6	51
04	84.87.6552.599	61,0	21,4	60,5	47
05	84.87.6551.742	61,9	20,45	60,5	47
06	83.87.6551.787	61,5	20,9	60,6	51
07	84.87.6551.929	60,9	21,5	60,2	47
08	83.87.6552.423	61,0	21,4	60,5	52
09	83.87.6552.622	61,0	21,4	60,5	52
10	83.87.6652.612	61,2	21,19	60,6	52
11	84.87.6551.754	61,7	20,7	60,6	47
12	83.87.6552.541	61,0	21,4	60,5	52
13	83.87.6551.964	61,2	21,2	60,6	52
14	84.87.6552.044	61,3	21,1	60,6	47
15	84.87.6552.937	60,8	21,6	60,2	47
16	84.87.6551.720	61,3	21,1	60,6	47
17	83.87.6552.026	61,0	21,4	60,6	52
18	84.87.6551.788	61,1	21,3	60,5	47
19	84.87.6551.970	61,2	21,2	60,5	47
20	83.87.6552.509	61,0	21,4	60,5	52
21	83.87.6552.091	61,3	21,1	60,6	51
22	84.87.6552.512	61,2	21,2	49,8	47
23	84.87.6551.971	61,1	21,23	60,3	47
24	84.87.6551.709	61,7	20,9	60,3	47
25	83.87.6552.035	60,9	21,5	60,0	52
26	83.87.6551.003	60,7	21,7	59,8	52
27	84.87.6552.519	61,3	21,1	60,3	47
28	83.87.6551.786	61,2	21,2	60,3	51
29	84.87.6551.713	61,9	20,5	60,5	51
30	84.87.6552.117	61,2	21,2	60,3	51
31	83.87.6552.447	61,0	21,4	60,3	52
32	84.87.6552.130	61,2	21,15	60,3	47

<i>rang</i>	<i>Numéro de wagon</i>	<i>Charge maxi.(tonnes)</i>	<i>Tare(tonnes)</i>	<i>Charge nette(tonnes)</i>	<i>Poids- frein(tonnes)</i>
33	83.876552.430	61,0	21,4	60,3	52
34	83.87.6552.964	61,0	21,4	60,5	52
35	84.87.6551.784	61,3	21,1	60,3	47
36	84.87.6552.131	61,6	20,9	60,3	47
37	83.87.6551.762	60,3	22,05	59,5	51
38	84.87.6551.316	61,1	21,26	60,3	48
39	83.87.6552.565	61,0	21,4	60,6	52
40	83.87.6552.508	61,0	21,4	60,3	52
41	84.87.6551.714	61,2	21,3	60,5	47
42	83.87.6552.527	61,0	21,4	60,3	52
43	84.87.6552.046	61,4	21,0	60,4	52
44	84.87.6551.318	61,1	21,23	47,6	48
Total rame			933,79		2 187

Chargement du minerai à QPo : 2 634 tonnes

Masse totale rame : 2 634 t + 934 t = 3 568 tonnes

Masse freinée requise = 2 041 tonnes.

poids-frein = masse freinée / masse totale = 2 187 / 3568 = 61 %

Annexe 9 : Vue de la voie 1 dans la zone de montée de la roue sur le rail

Vue large du point de montée



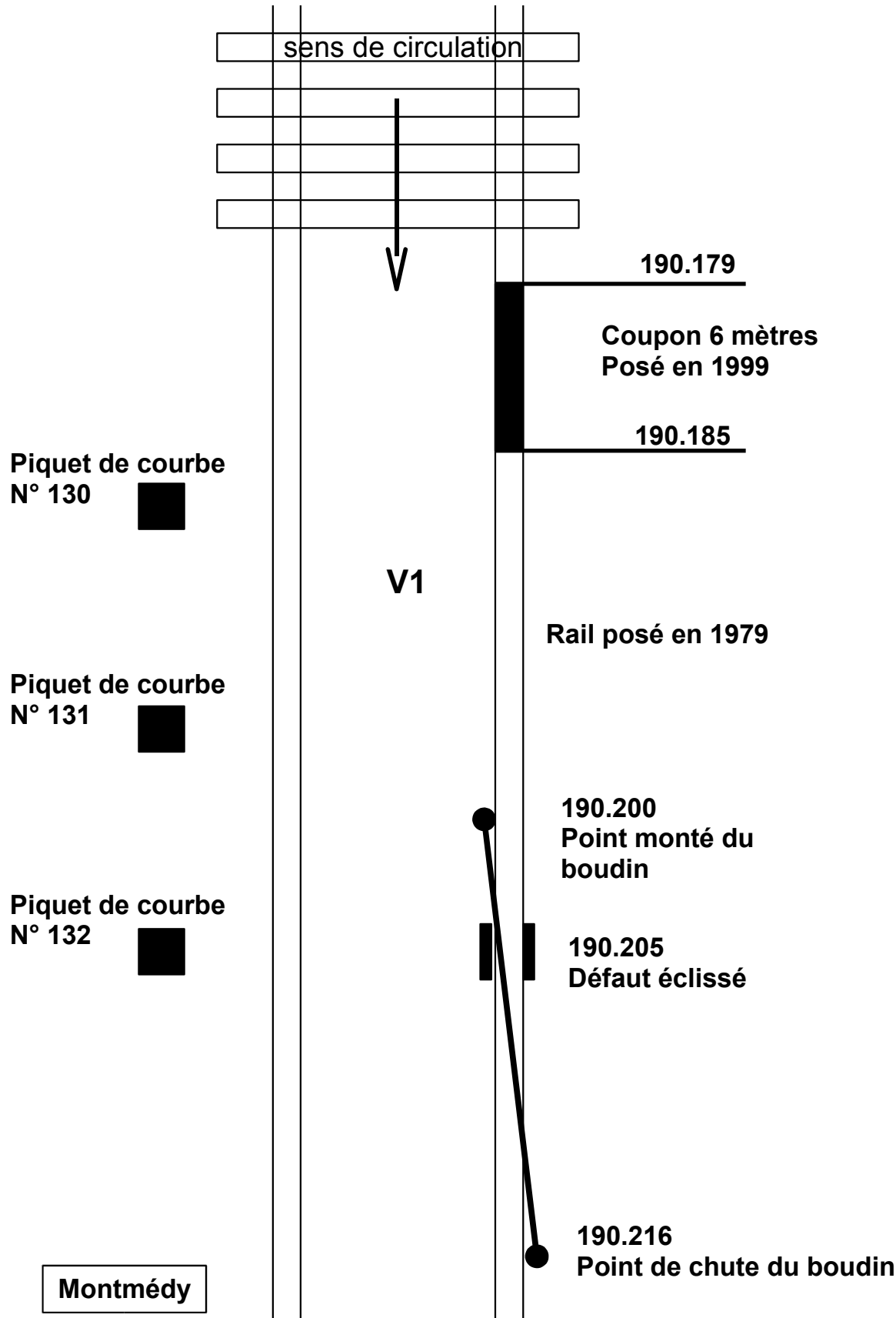
**Point de montée sur le rail
Pk : 190.200**

**Rail X 1
Défaut 471.2
FT sous rechargement ARC
Pk : 190.205**

Annexe 10 : Trace du boudin de roue sur le champignon de rail



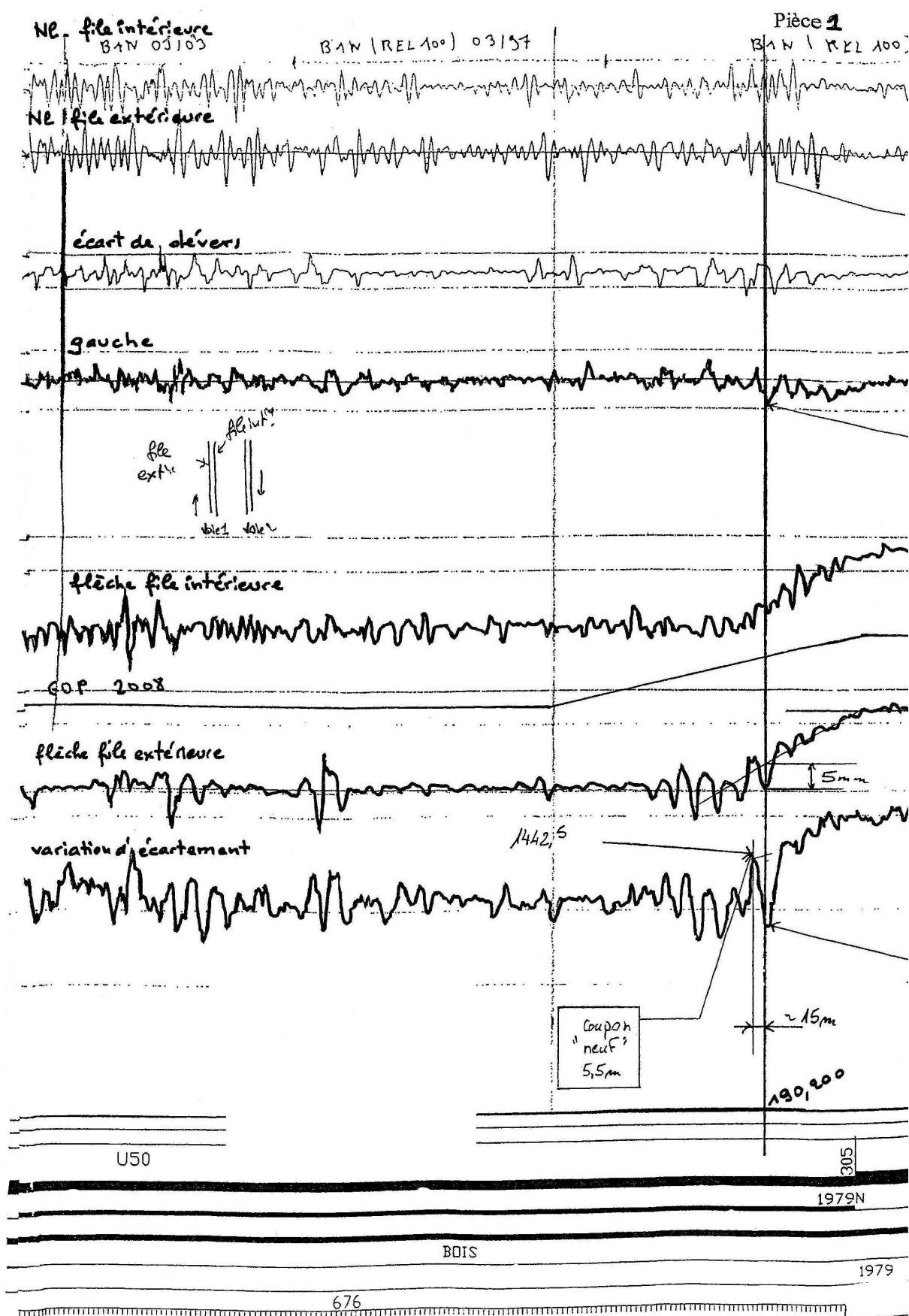
Annexe 11 : Coupon du rail de 6 mètres posé en voie en 1999

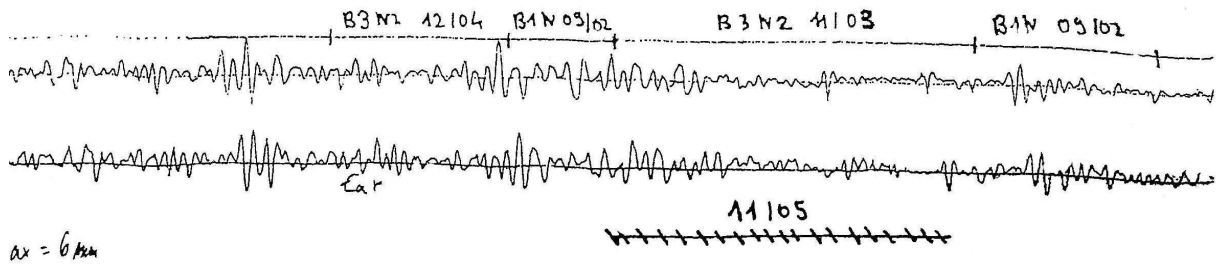


Annexe 12 : Station de chargement des wagons en minerai de fer au poste de Dunkerque

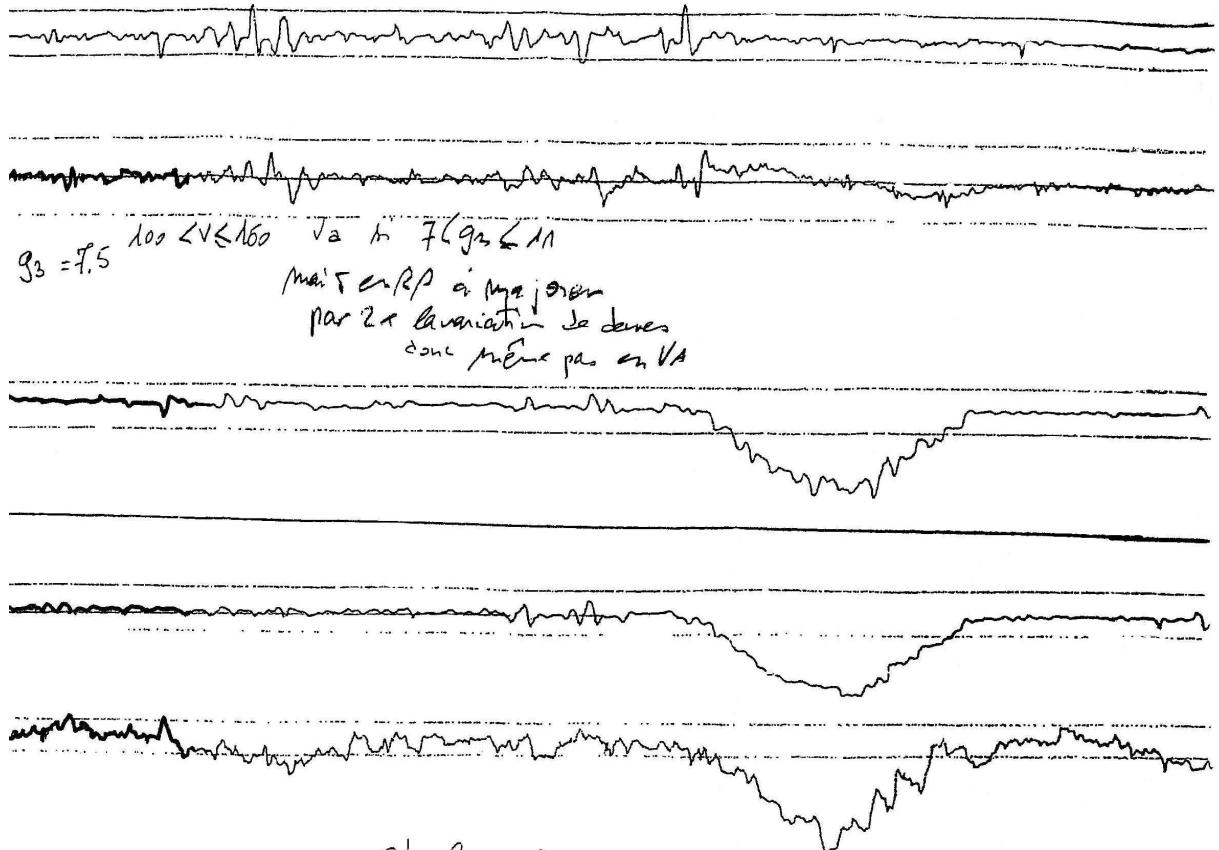


Annexe 13 : Relevé Mauzin de la voie 1, du 29/03/06 dans la zone autour du pk 190,00





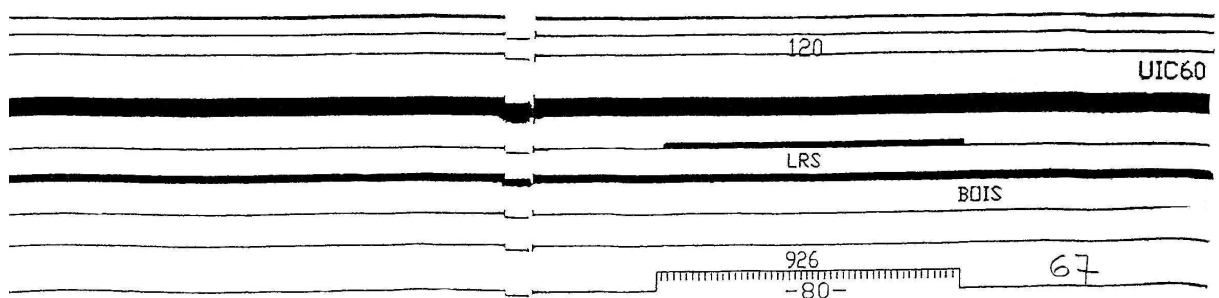
$\Delta x = 6 \text{ km}$



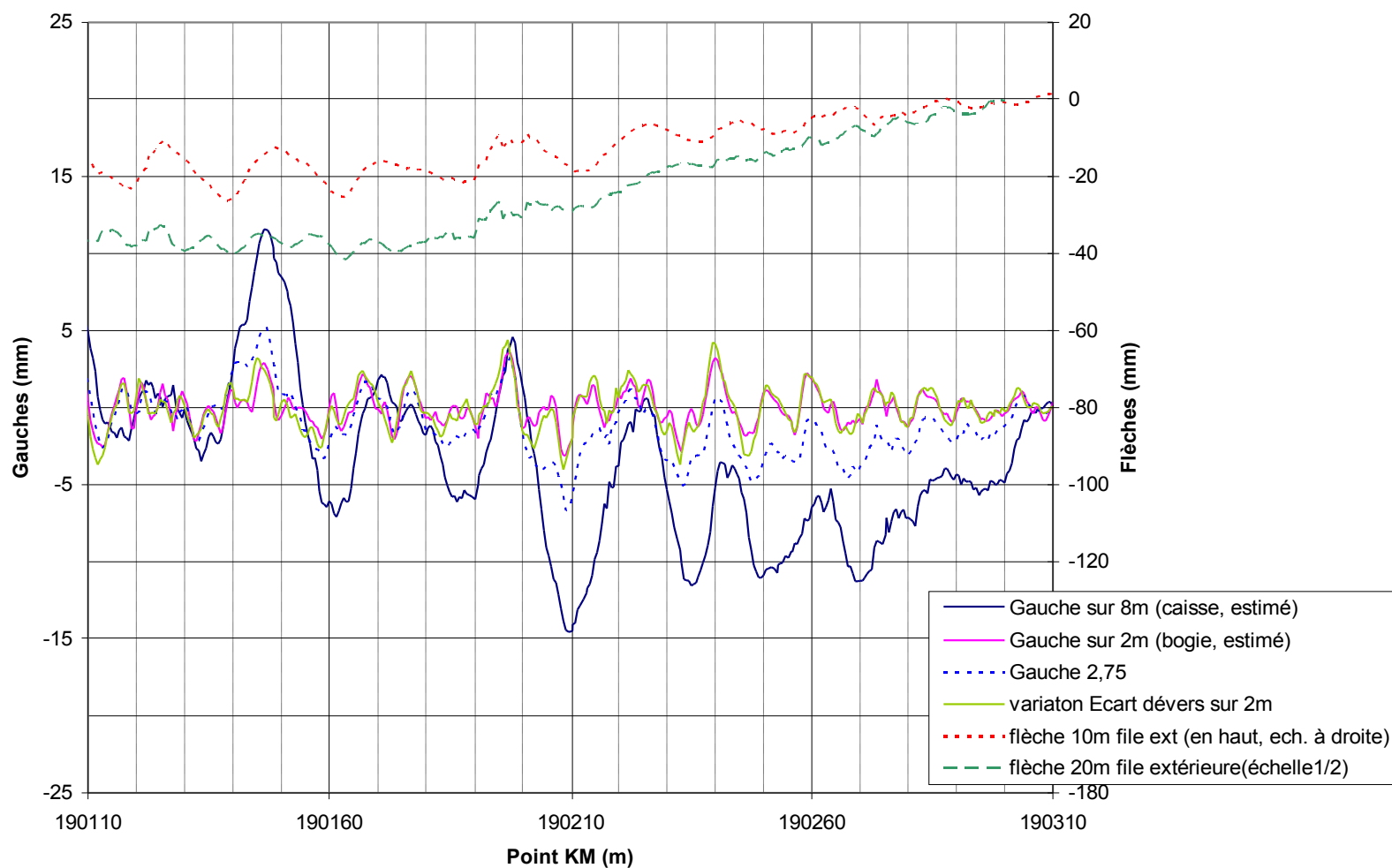
usage latérale : 4 usage verticale : 4 $u = u_{\text{lat}} + u_{\text{vert}} = 4 + 2.4 = 6.4$ entre VA et VA

- $E = 1,458$ Rail USA : largeur 65/674 hauteur 153 Rail UGO : largeur 61 hauteur 149

VI
 $E_{\text{max}} > 1,455$



Annexe 14 : Analyse des gauches du relevé Mauzin numérisé (zone de voie 1 autour du pk 190,200)



Données extraites du Mauzin du 12 septembre 2005. Les gauches sur 2 mètres et sur 8 mètres ont été estimés, le premier à partir des nivellements N1 et N2, et parallèlement de la variation de l'Ecart de dévers sur 2 mètres, le second en cumulant 3 gauches consécutifs sur base de 2,75 mètres (calcul approximatif). On retrouve au PK 190+210 la conjonction de gauche court et long (le gauche sur 2 m est plus faible qu'en mars 2006). Dans la zone précédant le point de déraillement, la corrélation entre gauche long sur la caisse et la flèche sur 10 mètres est forte.

Annexe 15 : Diagramme des efforts Y/Q roue-rail (extrait du rapport INRETS)

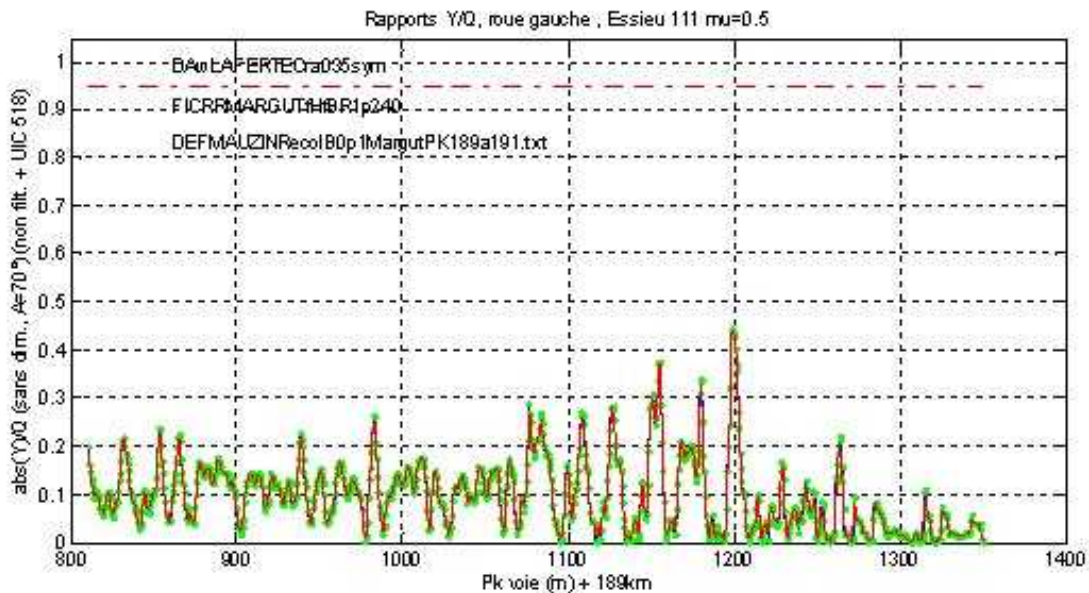


Figure 18 - Modèle de référence sur voie Mauzin sèche, rapports Y/Q

On remarque que la pointe de Y/Q au pk 190,200 est large, bien prononcée. C'est la pointe la plus forte de cette zone, mais la valeur pour cette situation de référence ne dépasse pas 0,44, loin des 0,95 correspondant à la limite de Nadal pour le déraillement à cette adhérence théorique de 0,5.

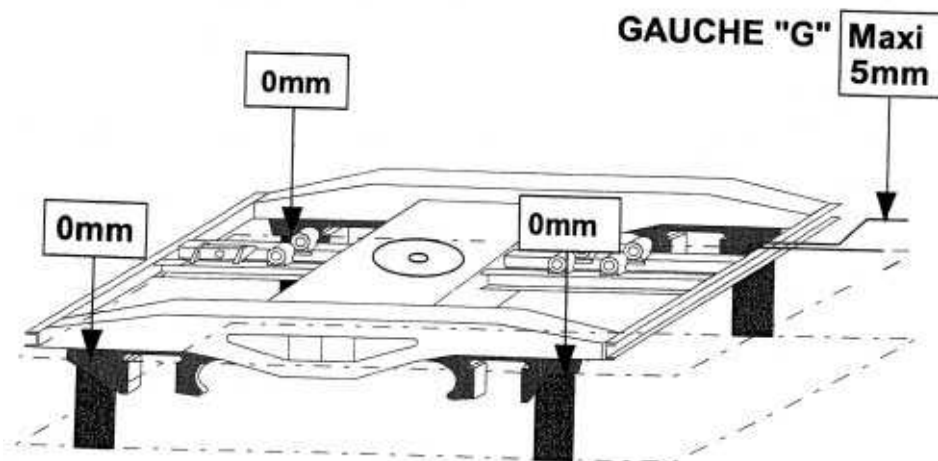
Annexe 16 : Expertise détaillée du wagon 6551 318 à l'atelier de Tergnier

Les mesures globales, réalisées sur place à Montmédy comme à l'Agence d'Essai Ferroviaire de Vitry, n'ont pas mis en évidence d'écarts significatifs et explicatifs par rapport à un wagon « dans la norme ». Il se révèle nécessaire de pousser plus loin les investigations sur la conformité géométrique du wagon, ces mesures complémentaires permettant aussi d'alimenter les données d'entrée de la simulation numérique que nous serons amenés à réaliser.

La question s'est posée de savoir si ce wagon est en moins bon état que ceux du reste de la population des wagons « DMH 60 », ou bien, si la famille est homogène, que cette famille présente globalement des insuffisances. Deux « wagons témoins » ont été désignés pour être analysés à leur tour et permettre une comparaison entre les trois wagons. Les wagons choisis sont le wagon placé 43ème (« w.43 » = 84.87.6552.046) dans le train 72 187, attelé au wagon incriminé et le wagon de la même population qui a engrangé le travail maximum, le « w.i » immatriculé 84.87.6551.319.

Pour l'expertise complémentaire du wagon incriminé, les éléments suivants sont désolidarisés : caisse, bogies, essieux. Les bogies sont à leur tour désassemblés de façon complète pour procéder à un examen ultime, selon le document de référence SNCF « fiche de réparation R.R.5.505 vérification de la géométrie et redressage des châssis de bogies Y 21 à Y 37 et leurs dérivés ».

Bogie : mesure du gauche du châssis.



Cette mesure se réalise en appliquant la méthode dite « des trois plots ». Le châssis de bogie est posé au niveau des appuis extérieurs des ressorts sur un ensemble de quatre plots situés dans un même plan, avec une précision inférieure au millimètre. Le bogie reposant sur trois plots, la valeur du gauche est la distance séparant le quatrième appui du plot correspondant.

Résultat la mesure :

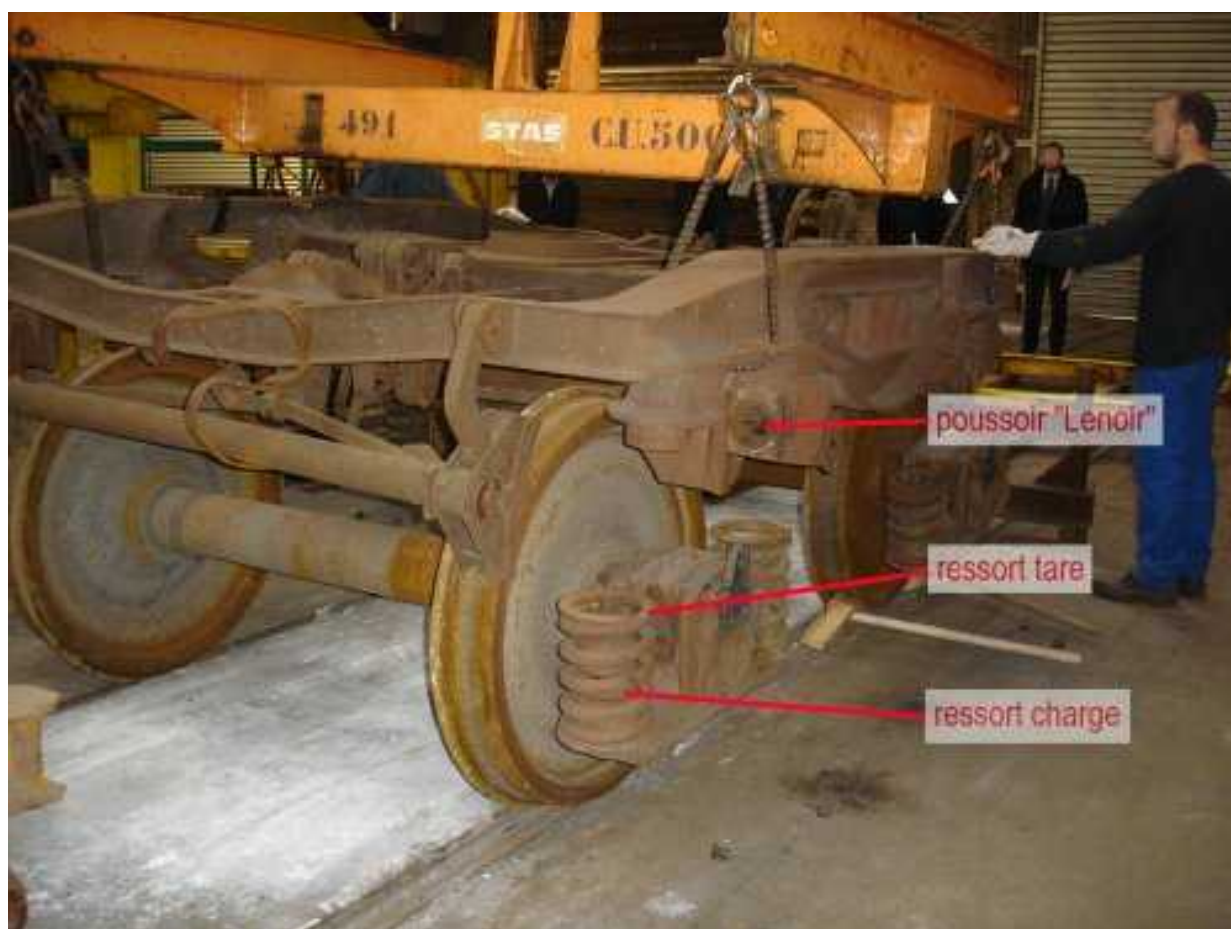
bogie (1-4) (avant) : gauche mesuré = 0 mm.

bogie (5-8) (arrière) : gauche mesuré = 5,5 mm.

Si le bogie (5-8) devait être révisé, celui-ci serait envoyé au banc de redressage pour réduire le gauche à une valeur inférieure à 5 mm. **Le bogie « avant », incriminé dans ce déraillement, ne présente quant à lui aucun gauche ; ce paramètre ne peut donc intervenir comme cause.**

Bogie : contrôle et tarage des ressorts de suspension.

Chaque boîte d'essieu participe à la sustentation du châssis de bogie par l'intermédiaire de deux couples concentriques de ressorts en hélice : le ressort extérieur de plus gros diamètre (ressort tare) et le ressort intérieur, plus court et de plus faible diamètre (le ressort charge). Il s'agit d'une suspension à double flexibilité, jouant son rôle pour les faibles charges (y c wagon vide) ainsi que pour les charges importantes autorisées.



Le référentiel ITR 72.002 indique les hauteurs suivantes d'élongation de chaque type de ressort sous une charge nominale de 20 tonnes :

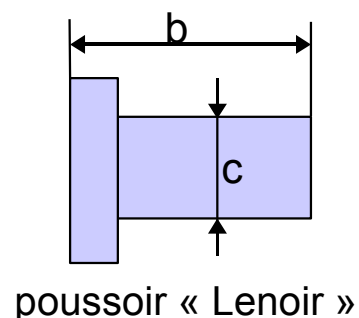
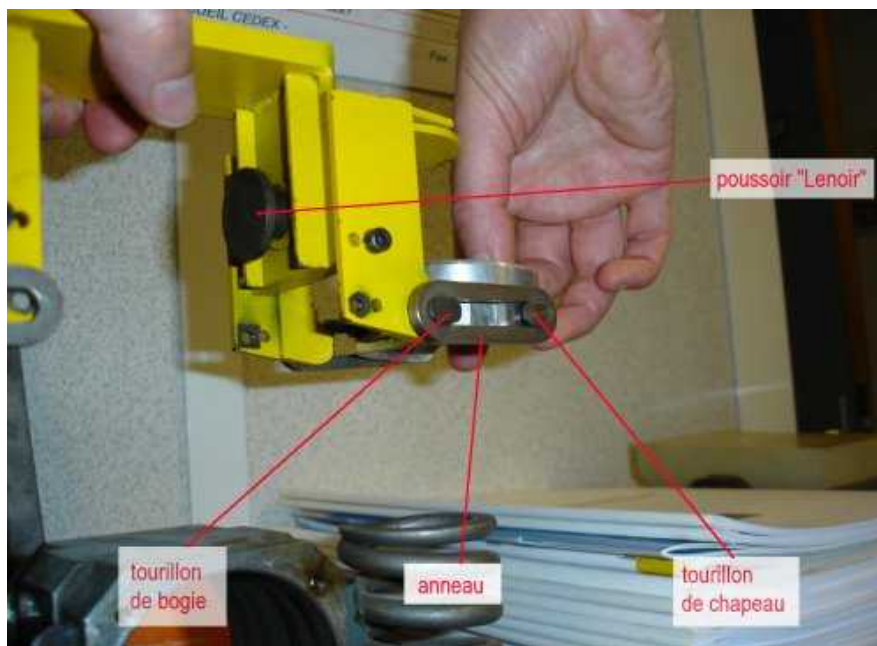
hauteur ressort tare sous 20 tonnes > 234 mm ; hauteur ressort charge sous 20 tonnes > 197 mm.

La mesure à la presse à tarer les ressorts donne les résultats suivants :

<i>Hauteur de ressort sous une tare de 20 tonnes(mm)</i>																
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D
Ressort tare	238	239	238	238	238	238	237	236	238	239	239	240	240	239	238	239
Ressort charge	205	204	205	198	204	208	201	201	207	204	204	206	205	206	207	204

Les ressorts sont conformes, il n'est pas mis en évidence de ressort affaissé.

Bogie : poussoirs « Lenoir », cotes des anneaux et tourillons.



Ces poussoirs, au nombre de quatre par bogie (un par roue) constituent l'élément final de l'amortissement en frottant, de façon proportionnelle à la charge, sur les glissière de boîtes d'essieu. Si l'opérateur de maintenance est conduit à examiner ce poussoir, les cotes suivantes doivent être respectées :

	<i>Réparation accidentelle du wagon</i>	<i>Révision générale du wagon (rang 2)</i>
Cote b (mm)	> 65,4	> 65,8
Cote c (mm)	> 53,3	> 53,6

Résultat des mesures effectuées sur les poussoirs du bogie (1-4) :

<i>mesure des poussoirs en mm.</i>								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cote b (mm)	64,7	65,98	65,90	66,25	65,10	65,34	65,54	65,56
Cote c (mm)	53,36	54,85	54,77	54,64	53,30	53,57	53,48	54,56

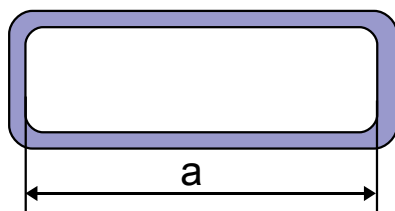
On constate, **pour le poussoir n° 1, correspondant à la roue 1, une longueur b insuffisante** ; cela peut avoir pour conséquence une inefficacité de cet amortisseur si, par ailleurs, le système anneaux-tourillons est hors norme.

Mesure des tourillons de châssis de bogie et chapeaux-ressort : en réparation accidentelle, aucune cote de dépose n'est prescrite ; en révision générale, le tourillon de diamètre 30mm est à

déposer si son diamètre atteint 29mm en RG1* et 29,3mm en RG2.

	1	2	3	4	5	6	7	8
tourillon bogie ext	29,66	29,32	29,45	29,82	29,67	29,45	29,6	29,38
tourillon bogie int	29,27	29,34	29,04	29,59	29,44	29,32	29,52	29,24
Tourillon chapeau ext	29,29	29,23	29,4	29,08	29,45	29,60	29,45	29,41
tourillon chapeau int	29,37	29,42	29,34	29,25	29,44	29,62	29,60	29,55

Mesure des anneaux : en présence du wagon, quelle que soit la nature de l'opération, si le jeu A est inférieur à 2 mm, les anneaux doivent être remplacés. Lors d'une révision RG1, « a » minimum = 108mm ; lors d'une révision RG2, « a » minimum = 103,5mm.



La mesure de la cote « a » (exprimée en mm) des anneaux donne le résultat suivant :

	1	2	3	4	5	6	7	8
anneaux extérieurs	104,62	104,13	104,22	103,17	104,21	104,00	104,11	103,41
anneaux intérieurs	104,57	103,40	104,16	104,67	104,37	103,86	104,44	104,45

Il est important de noter que ces cotes « tourillons » et « anneaux » sont des cotes de retrait en révision (permettant au bogie d'atteindre le prochain rendez-vous de maintenance en toute sécurité) et que ce ne sont pas des cotes limites de maintien en service. En observation instantanée du wagon, comme cela peut se faire à l'occasion d'une R., aucun critère de réforme n'est à respecter, dès lors que le jeu A chapeau-bloc d'appui est supérieur à 2 mm. Dans le cas présent, les cotes A pour les roues 3 à 8 sont supérieures à 2 mm ; les cotes A pour les roues 1 et 2 sont nulles comme conséquence du déraillement, le bogie (1-4) ayant heurté le rail en dépôt, provoquant la déformation du bloc d'appui.

En conclusion de cette analyse du système d'amortisseur Lenoir, on peut estimer que l'amortissement vertical de la suspension du wagon était réel, si l'on admet que la perte de jeu « A » de l'essieu (1-2) est la conséquence du choc post-déraillement ; en supposant aussi que les constats antérieurs de relevés maintenance de janvier 2005 et de décembre 2005 de « jeu insuffisant aux amortisseurs Lenoir » (sans que la roue concernée n'ait été désignée) aient été suivis d'une correction effective.

* Terme figurant dans le glossaire

Essieux : expertise selon la fiche de visite VR 1 503 ; mesure des diamètres des cercles de roulement ; mesure des cotes Ei des faces internes.

Les essieux déposés du wagon et du bogie, se trouvent à l'état libre ; n'étant plus sous charge, certaines cotes, telles les faces internes Ei et actives Ea, peuvent être légèrement différentes, du fait des conditions de flexion différentes des essieux ; en outre, le banc d'expertise est un outil plus ergonomique que la jauge à bandage employée sous wagon dans le ballast.

Le banc permet en outre de mesurer le voile de roue (référentiel : $v < 0,8$ mm) et le déport de roue (référentiel : $53,75$ mm < déport < $56,25$ mm). Les résultats de la mesure au banc sont les suivants :

Essieu (1-2) type « 9 052 » n° 78 783 (cotes en mm)													
Ø roue	Faux rond	Qr	Largeur bandage	Hauteur boudin	Épaisseur boudin	Voile roue	déport	Ei	Ei	Ei	Ea	Ø corps d'essieu	Faux rond axe
900,5	0,5	8	133,5	24	28,5	1	55,5	1369	1369	1369,9	1425,9	172	1
900,5	0,3	7,5	134,5	28,5	27,5	0,3	55,5						

L'observation visuelle fait apparaître :

- la roue gauche décalée d'environ 9 mm sur sa portée de calage,
- la boîte gauche déformée et comportant une vis desserrée et un goujon cassé,
- les roues présentent des traces de choc ou d'arrachement de métal sur les faces actives, des écaillages de la table de roulement.

Essieu (3-4) type « 9 052 » sans identification car collier perdu (cotes en mm)													
Ø roue	Faux rond	Qr	Largeur bandage	Hauteur boudin	Épaisseur boudin	Voile roue	déport	Ei	Ei	Ei	Ea	Ø corps d'essieu	Faux rond axe
905,0	0,4	8,4	134,5	26,6	28,6	0,18	56	1361,5	1361,5	1361,7	1419,5	170,7	0,2
904,5	0,3	8,5	133,5	27	29,2	0,30	57						

L'observation visuelle fait apparaître (outre le collier manquant) :

- les boîtes d'essieux déformées,
- les roues ayant subi des chocs ou des arrachements de métal sur les faces actives ainsi que des écaillages,
- l'axe de l'essieu usé par frottement accidentel avec une arête vive.

<i>Essieu (5-6) type « 9 052 » n° 105 426 (cotes en mm)</i>													
Ø roue	Faux rond	Qr	Largeur bandage	Hauteur boudin	Épaisseur boudin	Voile roue	déport	Ei	Ei	Ei	Ea	Ø corps d'essieu	Faux rond axe
907,5	0,2	8,6	135,0	28	18,7	0,25	56	1360,5	1360,5	1360,7	1417,9	170,5	0,2
907,3	0,6	8,5	135,5	27,5	28,5	0,35	56						

L'observation visuelle fait apparaître sur les roues des traces de choc ou d'arrachement de métal hors face active.

<i>Essieu (7-8) type « 9 052 » n° 281 804 (cotes en mm)</i>													
Ø roue	Faux rond	Qr	Largeur bandage	Hauteur boudin	Épaisseur boudin	Voile roue	déport	Ei	Ei	Ei	Ea	Ø corps d'essieu	Faux rond axe
914,3	0,15	10,2	135,5	28,5	30,5	0,25	55,5	1359,7	1359,8	1359,8	1420,5	171,5	0,2
914,3	0,3	10,5	135,5	28,3	30,2	0,25	55						

L'observation des roues fait apparaître de multiples petits défauts sur la table de roulement et le boudin ; une vis de la boîte gauche est desserrée.

Il apparaît clairement que les défauts visuels relevés par cette expertise sont la conséquence du déraillement. Si l'on compare les deux relevés de cotes (à Montmédy sur le ballast et au banc d'expertise de l'atelier de Tergnier), il apparaît bien que les cotes Ei de l'essieu (1-2) sont trop faibles du fait du décalage de la roue 1 sur sa portée de calage. En ce qui concerne la hauteur du boudin, seule la roue 1 apparaît hors norme avec une hauteur de 24 mm ($h_{\min} = 27$ mm). La roue 2 avec une hauteur de boudin de 28,5 mm est encore correcte. Il est vrai que la roue 1 a roulé sur les têtes de traverses et les tirefonds qui ont usiné le boudin tandis que la roue 2 roulait dans l'entraxe de la voie, « simplement » sur les traverses. La hauteur de boudin de la roue 3 apparaît aussi trop faible pour les mêmes raisons que pour la roue 1.

Caisse du wagon : contrôle du gauche du châssis.

La mesure indique un gauche de 7 mm. Le wagon témoin « wi » présente lui aussi un gauche de 7 mm. Ce gauche n'est pas réductible : son effet est compensé lors des opérations de maintenance, en calant les lisoirs de façon à respecter la fourchette de référence (4 mm ; 14 mm). Le gauche de châssis des wagons est contrôlé à la construction en ne dépassant pas 4 mm. Par la suite, le gauche n'est contrôlé en maintenance que si l'opérateur juge visuellement que le châssis est

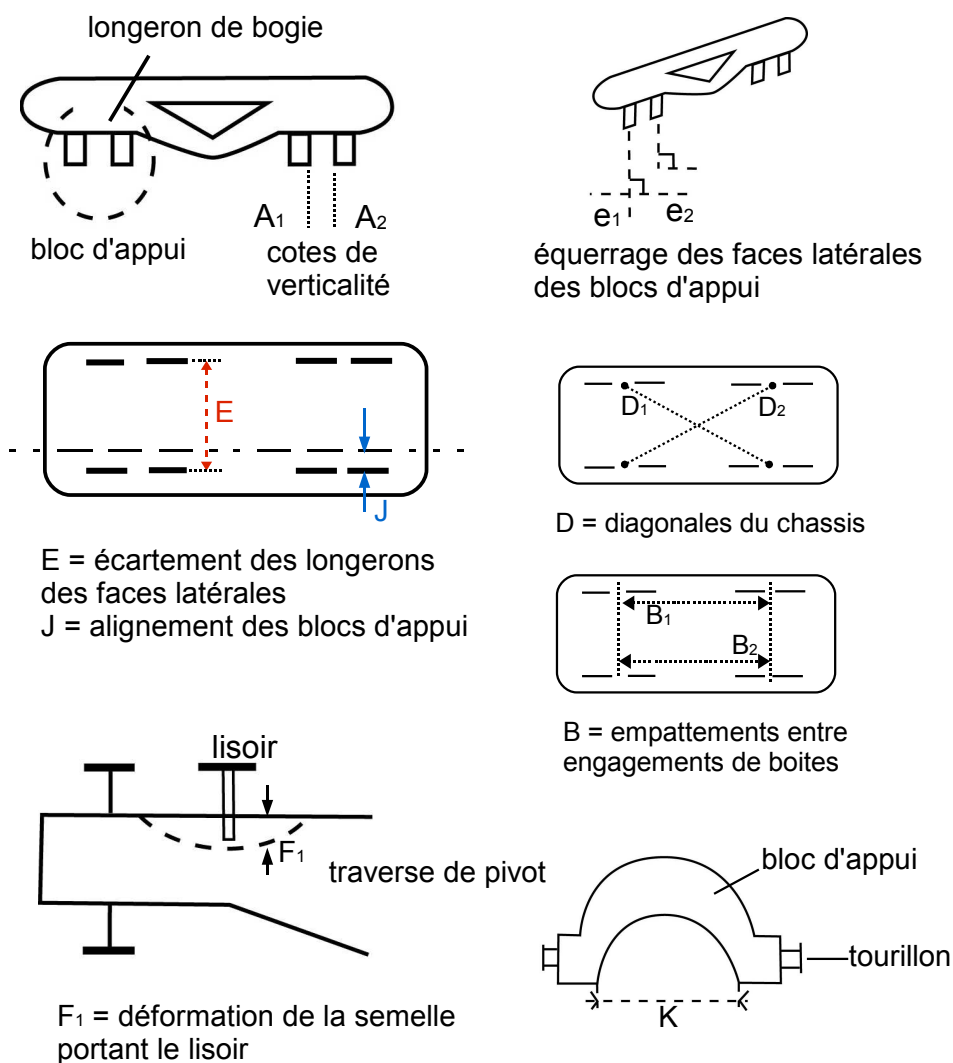
faussé.

Le relevé de rectitude du brancard-longeron (2x8) a été effectué (le relevé similaire n'est pas accessible pour le longeron (1x7) du fait de l'appareillage qui y est fixé) :

Rectitude brancard-longeron 2x8							
	traverse pivot						
	Bout 6x8				Bout 2x4		
Mesure réglet/longeron (mm)	9,4	9,3	10,1	10,8	10,2	10	9,4

D'après la fiche ORE.DT 122(B12), pour un brancard de longueur inférieure à 15 m, l'écart admis, sur les distances mesurées entre une droite et le brancard, est de 5 mm au maximum. Dans le cas présent : $10,8 \text{ mm} - 9,3 \text{ mm} = 1,5 \text{ mm}$; le longeron est considéré conforme au plan de la rectitude.

Autres paramètres des bogies : l'ensemble des caractéristiques géométriques des bogies ont été mesurées au banc d'expertise. Le tableau ci-dessous les résume (les cotes mesurées sont représentées sur les schémas suivants) :



Bogie (1-4) - n° 35 496 – bogie ayant déraillé			
	Conforme	Non Conforme	Commentaires
gauche du bogie g.max = 5 mm	g=0 mm		chassis parfait pour ce critère.
ressorts de suspension	C		
positionnement des supports de bielles de timonerie centrale			R.A.S. (utilité de la vérification uniquement pour la timonerie de frein)
équerrage des blocs d'appui (verticalité) A1, A2 <= 2 mm A1+A2 <= 3 mm	bloc2 : A1=1mm/A2=0mm bloc3 : A1=1mm/A2=0mm bloc4 : A1=0mm/A2=2mm	Bloc 1 : A1 = 0mm A2 = 4,5mm	non conformité du bloc 1 qui a été faussé lors du choc du bogie contre le rail en dépôt sur le ballast.
équerrage des faces latérales des blocs d'appui C1,C2 <= 2 mm	bloc1 : C1=1,8mm/C2=0,8mm bloc2 : C1=1mm/C2=0,8mm bloc3 : C1=0,8mm/C2=0,8mm bloc4 : C1=0mm/C2=1,3mm		
parallélisme des blocs d'appui des longerons Ji <= 2 mm	côté plaque immatriculation : J1=J2=J3=J4=0mm côté opposé : J1=J2=J3=0mm/J4=1,5mm		
écartement des longerons suivant les faces latérales Ei mini = 1 855 mm Ej maxi = 1 859 mm	E1=E2=E3=E4= 1 857 mm		
diagonales du châssis D1 – D2 <= 5 mm	D1-D2 = 0 mm		
défaut d'empattement entre encastres des boîtes des deux longerons. B1 – B2<= 2mm	B1-B2 = 0mm		les deux essieux sont parallèles.
portée de l'isoir : déformation de la semelle F <= 5 mm	F1 = 1mm F2 = 3mm		
cote K du bloc d'appui K = 256	K2 = K3= 255mm K4 = 256mm K1 = 258mm		intervention nécessaire seulement au niveau révision du bogie.
traverse pivot			Faussage : la traverse est inclinée vers l'extrémité (1x2) du wagon →aucune influence sur les mesures globales du wagon

Bogie (5-8) - n° 33 495 - bogie n'ayant pas initialement déraillé.			
gauche du châssis de bogie g.max = 5 mm		G = 5,5 mm	
ressorts de suspension	C		
positionnement des supports de bielles de suspension de timonerie centrale			R.A.S.(utilité de la vérification uniquement pour le fonctionnement de la timonerie de frein).
équerrage des blocs d'appui (verticalité) A1, A2 <= 2 mm A1+A2 <= 3 mm	bl1 : A1=A2=0 mm bl2 : A1=0,5mm/A2=0mm bl3 : A1=A2=0,5mm bl4 : A1=A2=0mm		
équerrage des faces latérales des blocs d'appui C1, C2 <= 2 mm	bl1 : C1=0,5mm/C2=0mm bl2 : C1=C2=0mm bl3 : C1=0mm/C2=0,5mm bl4 : C1=C2=0mm		
parallélisme des blocs d'appui des longerons Ji <= 2 mm	Côté plaque immatriculation : J1=J2=J3=J4=0mm côté opposé : J1=J2=J3=J4=0mm		
écartement des longerons suivant les faces latérales Ei mini = 1 855 mm Ej maxi = 1 859 mm	E1 = E4 = 1 856mm E2 = E4 = 1 857mm		
diagonales du châssis D1 – D2 <= 5 mm	D1-D2 = 0 mm		
défaut d'empattement entre encastres de boîtes des deux longerons. B1-B2<= 2mm	B1-B2 = 0mm		Les deux essieux sont parallèles.
portée de Lisoir : déformation de la semelle F <= 5 mm	F1 = F2 = 0mm		
cote K du bloc d'appui K = 256 mm	K1=K2=K3=K4= 255mm		intervention nécessaire seulement au niveau révision du bogie.

Caisse du wagon : contrôle des flèches longitudinales et transversales du wagon

En transversal, aucune valeur de flèche n'est décelable. En longitudinal, il n'y a pas de flèche non plus, et même, la contre-flèche de construction s'est maintenue.

Caisse du wagon : géométrie globale du wagon

Aucune anomalie autre n'est décelée sur l'ensemble de la géométrie de la caisse du wagon.

Caisse du wagon : mesure de la raideur torsionnelle du châssis du wagon

Cette mesure, uniquement destinée à réaliser la simulation numérique, n'a pu être réalisée, l'atelier de Tergnier ne disposant pas de l'outillage idoine. Pour cette simulation qui sera traitée ultérieurement, il sera pris en considération une valeur type pour ce genre de wagon, ce qui ne devrait pas présenter de gros écart par rapport à la réalité, compte tenu de la conformité d'ensemble de ce wagon.

Wagon : contrôle du fonctionnement du frein

Un premier essai de frein réalisé à l'atelier de Tergnier n'a pas mis en évidence d'anomalie de fonctionnement du distributeur.

Eléments de comparaison avec les wagons témoins

Deux wagons témoins vont permettre d'établir une comparaison :

w.43 : 6552.046, avant dernier wagon du train et attelé au wagon incriminé, équipé de lisoirs élastiques

w.i : 6551.319, semblable au wagon incriminé (lisoirs fixes) qui roule le plus.

(w.i) 6551.319 : Ce dernier wagon a été construit le 15/03/1970 ; la dernière révision a été effectuée le 29/10/2002. Au 31/01/2007, le travail qu'il avait réalisé était de 19,7 Mtk (à titre de comparaison, un wagon de type semblable du parc commercial SNCF a sa butée kilométrique de révision à 15 Mtk, 17 Mtk s'il est à lisoirs élastiques).

➤ Contrôle et tarage des ressorts de suspension :

La hauteur du ressort est mesurée sous une tare de 20 tonnes :

ressort tare (hauteur minimum mesurée) = 234 mm (référentiel: min = 234 mm)

ressort charge (hauteur minimum mesurée) = 204 mm (référentiel: min = 197 mm)

La suspension respecte le référentiel.

➤ Jeu de l'encagement des boîtes d'essieu.

Le relevé des mesures indique :

<i>roue</i>	<i>référentiel</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>
Jeu (mm)	J< 3 mm	2	1	2	2	1,5	1,5	2,5	2

Les jeux sont inférieurs à la limite autorisée, aucun redressage n'est à opérer.

➤ Glissoirs de caisse.

Le glissoir de caisse (2x4) présente une usure de 4,8 mm pour 4 mm autorisés.

➤ Amortissement Lenoir.

La réalité de l'amortissement est contrôlée par l'existence d'un jeu « A » entre le chapeau de ressort et le bloc d'appui du longeron de bogie (cf photo du paragraphe 4.5.2).

Le référentiel indique les valeurs suivantes :

en sortie de révision : $jA \geq 14 \text{ mm}$

en exploitation : $jA \geq 2 \text{ mm}$

La mesure donne le résultat suivant :

<i>roue</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>
Jeu A (mm)	7,5	7,5	6	7	6	6,5	7	6

L'amortisseur Lenoir ne peut pas être considéré inefficace.

➤ Jeux aux lisoirs.

Le référentiel VR.7.504 indique la fourchette : (4 mm, 14 mm).

Résultat de la mesure :

	<i>Bout (1x4)</i>	<i>Bout (5x8)</i>
Jeux aux lisoirs (mm)	14	14

Le jeu est conforme.

Il a été remarqué que, côté 5x8, le glissoir de caisse est un peu usé (4,8 mm), ce qui commence à nuire à la qualité du frottement.

➤ Relevé de rectitude (du seul longeron mesurable côté pair 2x8).

Le longeron côté 1x7 n'est pas accessible à cette mesure du fait des organes et agrès qui sont implantés (cylindre de frein notamment). La mesure se réalise en positionnant un réglet de référence parallèlement au longeron et en mesurant périodiquement la distance longeron-réglet.

<i>Rectitude brancard-longeron 2x8</i>							
	traverse pivot						
	Bout 6x8				Bout 2x4		
Mesure réglet/longeron (mm)	9,8	9,8	9,8	9,9	9,7	9,8	9,8

La variation d'écart maximum $9,9 \text{ mm} - 9,7 \text{ mm} = 0,2 \text{ mm}$ est inférieur à l'écart maximum toléré (5 mm).

- Gauche des châssis de bogie et de wagon.

	<i>Bogie (1-4) n° 3500</i>	<i>Bogie (5-8) n° illisible</i>
Gauche de bogie	< 5 mm	< 5 mm
Gauche du châssis	7 mm	

Rappel : il n'existe pas de critères de maintenance pour le gauche des châssis de wagon à bogie. La seule prescription (selon fiche UIC) concerne la tolérance (≤ 4 mm) en sortie de construction.

(w.43) 6552.046 : Ce wagon a été construit en 1974 ; la dernière révision a été effectuée le 20/09/2000, il était donc passible de subir sa révision au plus tard le 20/09 2006 s'il n'avait été sorti de son exploitation par cet événement. Au 13/06/2006, le travail qu'il avait réalisé était de 16,4 Mtk.

- Contrôle et tarage des ressorts de suspension.

La hauteur de chaque ressort est mesurée sous une tare de 20 tonnes :

ressort tare (hauteur minimum mesurée) = 235 mm (référentiel : min= 234 mm)

ressort charge (hauteur minimum mesurée) = 200 mm (référentiel : min= 197 mm)

La suspension respecte le référentiel.

- Jeu de l'encagement des boîtes d'essieu.

Le relevé des mesures indique :

<i>roue</i>	<i>référentiel</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>
Jeu (mm)	J < 3 mm	1	0	1	0	0,5	1	0	1,5

Les jeux sont inférieurs à la valeur limite.

- Amortissement Lenoir.

La réalité de l'amortissement est contrôlée par l'existence d'un jeu « A » entre le chapeau de ressort et le bloc d'appui du longeron de bogie (cf photo du paragraphe 4.5.2).

Le référentiel indique les valeurs suivantes :

en sortie de révision : jA $\geq$ 14 mm

en exploitation : jA $\geq$ 2 mm

La mesure donne le résultat suivant :

<i>roue</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>
Jeu A (mm)	9	9	10	11	10,5	6,5	9	4,5

- Jeux aux lisoirs.

Bien que le wagon soit du type « lisoirs élastiques », une vérification s'effectue en retirant les ressorts sous lisoirs et en mesurant les jeux comme pour un wagon à lisoirs fixes.

	<i>Bout (1x4)</i>	<i>Bout (5x8)</i>
Jeux aux lisoirs (mm)	9	10

- Relevé de rectitude du longeron 2x8.

L'écart longeron-réglet atteint 7 mm, ce qui est supérieur à l'écart admis de 5 mm.

- Gauche des châssis de bogie et de wagon.

	<i>Bogie (1-4) n° 74 027</i>	<i>Bogie (5-8) n° 63 935</i>
Gauche de bogie	0 mm	0 mm
Gauche du châssis	4 mm	

Les valeurs de gauche sont correctes.

- Parallélisme des blocs d'appui des longerons.

Les cotes de défaut d'alignement et de défaut d'écartement sont inférieures aux seuils nécessitant un redressement.

- Portées de lisoirs :

Les déformations de la semelle supérieure sont inférieures à 5 mm.

- Cotes « K » des blocs d'appui :

Elles sont toutes égales à 256 mm, ce qui est conforme.

En conclusion, pour les bogies, aucune cote n'est hors tolérance.

En ce qui concerne la caisse du wagon, on relève seulement le défaut limité de rectitude de 7mm, mais qui dans le cas présent n'a conduit à aucun défaut de tenue en ligne de ce wagon.

EA-TT

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

Tour Pascal B

92055 La Défense

cedex

téléphone :

33 (0) 1 40 81 21 83

télécopie :

33 (0) 1 40 81 21 50

mèl :

Cgpc.Beatt@equipement.gouv.fr

web :

www.bea-tt.equipement.gouv.fr