

BEA-TT
*Bureau d'enquêtes sur les Accidents
de transport terrestre*
Les rapports

*Rapport d'enquête technique
sur le déraillement
d'un train de travaux
survenu le 24 juillet 2006
à Culoz (01)*
décembre 2008

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**



**Conseil général de l'environnement
et du développement durable**

Le 15 décembre 2008

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

Affaire n°BEATT-2006-009

**Rapport d'enquête technique
sur le déraillement d'un train de travaux
survenu le 24 juillet 2006 à Culoz (01)**

Bordereau documentaire

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

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 d'un train de travaux survenu le 24 juillet 2006 à Culoz (01)

N°ISRN : EQ-BEATT--08-12-FR

Proposition de mots-clés : transport ferroviaire, train de travaux, déraillement, procédures, homologation, traçabilité ...

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002 modifiée, et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004 modifié, relatifs notamment aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

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

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

Sommaire

Glossaire.....	9
Résumé.....	11
1- Engagement de l'enquête.....	13
2- Constats immédiats.....	15
2.1- Circonstances de l'accident.....	15
2.2- Secours.....	15
2.3- Pertes humaines, personnes blessées, dégâts matériels.....	16
2.3.1- Personnes blessées.....	16
2.3.2- Dégâts matériels.....	16
2.3.3- Conséquences d'exploitation.....	16
2.3.4- Conséquences sur les travaux de voie relatifs au réseau ferré national.....	17
2.4- Organisation de l'enquête technique.....	17
3- Eléments de contexte.....	19
3.1- La ligne d'accès à l'Italie.....	19
3.2- L'infrastructure.....	19
3.3- Le trafic.....	19
3.4- Le train de travaux 818 729.....	19
3.5- Le train de renouvellement P21/95.....	20
3.5.1- Technologie.....	20
3.5.2- Agrément.....	22
3.5.3- Mise en oeuvre opérationnelle du train de renouvellement P21/95.....	24
3.5.4- Préparation du train de renouvellement P21/95 de sa zone de travaux vers sa base de maintenance et vice versa.....	25
3.5.5- Vérifications avant départ du train de travaux.....	29
3.6- Formation, conditionnement et engagement du train de travaux vers sa zone d'intervention.....	31
4- Compte-rendu des investigations.....	33
4.1- Résumé des témoignages.....	33
4.1.1- Les conducteurs du train de travaux.....	33
4.1.2- Un opérateur du chantier voisin (construction du nouveau pont ferroviaire).....	33
4.1.3- L'agent circulation du PRS de Culoz.....	33
4.1.4- L'agent « dirigeant de la manoeuvre – base arrière ».....	34
4.1.5- L'agent ayant effectué la reconnaissance d'aptitude au transport sur le train (RAT).....	34
4.1.6- Audition du contrôleur technique de l'Agence Technique Agrément (SNCF) et du responsable de la « division engins spéciaux » (SNCF).....	34
4.2- Mesures prises concernant la suspension du groupe de travail à la suite des	

observations du contrôleur technique de l'ATA.....	35
4.3- Mise en ordre de marche de l'engin P.21/95 le 24 juillet 2006.....	35
4.4- Analyse des enregistrements : vitesse de circulation du train.....	36
4.5- Expertise de la voie.....	36
4.5.1- Etat de la voie sur le trajet du train.....	36
4.5.2- Pièces tombées sur la voie.....	39
4.5.3- Pièces tombées dans le Rhône.....	40
4.5.4- Interprétation des traces relevées sur la voie par l'essieu G.....	40
4.6- Interprétation de la dégradation de certaines pièces de l'engin P21/95.....	40
4.6.1- Les ressorts de suspension de l'essieu G.....	40
4.6.2- Les lisoirs des bogies A1/A2 et B (wagon WM) et D (wagon WF).....	41
4.7- Analyse des conditions de déraillement de l'essieu G.....	41
4.7.1- Hypothèse d'une anomalie de la voie.....	41
4.7.2- Hypothèse d'une pièce étrangère entrée en contact avec l'essieu G soutenant le groupe de travail.....	41
4.7.3- Hypothèse d'une anomalie de l'essieu G.....	43
4.7.4- Hypothèse d'une anomalie de la suspension de l'essieu G.....	43
4.7.5- Hypothèse d'une anomalie concernant la traverse de liaison de l'essieu G (photo de l'annexe 18).....	43
4.7.6- Hypothèse relative au verrouillage de la broche n°33 maintenant en position alignée le bras de liaison du groupe de travail et de l'essieu G (côté droit).....	44
4.7.7- Hypothèse d'une configuration anormale du système de relevage du groupe de travail.....	44
4.7.8- Hypothèse d'un blocage de la rotule de poussée horizontale du groupe de travail.....	46
4.7.9- Hypothèse d'un mauvais positionnement de la roue de dépose des traverses.....	46
4.7.10- Interprétation du déraillement initial de l'essieu G.....	46
4.8- Analyse relative au désassemblage des pièces du groupe de travail sur la voie.....	47
4.9- Maintenance réalisée précédemment sur la voie.....	47
4.10- Expertise du train « P21/95 ».....	48
4.11- Exploitation et maintenance du train « P21/95 ».....	48
4.12- Evènements antérieurs survenus sur ce type de train.....	48
4.13- Mesures prises à la suite de l'accident.....	48

5- Déroulement de l'accident..... 49

5.1- La préparation du train de travaux 818 729.....	49
5.2- La mise en route du train de travaux 818 729.....	50
5.3- Le déraillement de l'essieu de délestage de la rame P21/95.....	50
5.4- Les pertes de pièces de la rame P21/95 et l'engagement de gabarit.....	50
5.5- Le heurt contre la poutre du tablier du pont du Rhône.....	52
5.6- Les risques encourus.....	52

6- Analyse et orientations préventives..... 53

6.1- Etat initial et procédures de contrôle préalables au départ du train.....	53
6.2- Conditions d'agrément de l'engin P21/95.....	53
6.3- Conditions d'exploitation des trains de travaux.....	55

7- Conclusions et recommandations.....	57
7.1- Identification des causes et facteurs associés.....	57
7.1.1- Causes directes.....	57
7.1.2- Facteur causal susceptible d'avoir joué un rôle.....	57
7.1.3- Facteur aggravant lié aux procédures d'exploitation.....	57
7.1.4- Autres constats effectués à l'occasion de l'enquête technique.....	57
7.2- Rappel des recommandations.....	58
ANNEXES.....	59
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	61
Annexe 2 : Vues de l'accident.....	62
annexe 2-1 : le pont de la voie 1 Culoz – Aix-les-Bains.....	62
annexe 2-2 : vue aérienne du pont sur le Rhône accidenté.....	63
Annexe3 : Carte ferroviaire Culoz, zone de travail prévue du train de travaux.....	64
Annexe 4 : Cheminement du train de travaux depuis son lieu de garage jusqu'au lieu de l'accident.....	65
Annexe 5 : Traces de la chute de la roue 34 de l'essieu G depuis le champignon du rail (pk 101,747) sur le patin extérieur du rail.....	66
Annexe 6 : Un ressort de la roue droite (33) de l'essieu G : matage des spires.....	67
Annexe 7 : Cheminement au sol de l'essieu G déraillé.....	68
Annexe 8 : Traces laissées par le boudin de la roue 34 de l'essieu G sur les entretoises de l'aiguille 310.....	69
Annexe 9 : Identification du positionnement des pièces tombées sur la voie en provenance du train P21/95.....	70
Annexe 10 : Premières pièces du train P21/95 tombées sur la voie.....	72
Annexe 11 : 3ème et 4ème pièces du train P21/95 tombées sur la voie.....	73
Annexe 12 : Broche de verrouillage dans son logement de repos.....	74
Annexe 13 : Broche de verrouillage solidarissant les bras de liaison de l'essieu G.....	75
Annexe 14 : Train P21/95 après relevage : reste des WM et WF.....	76
Annexe 15 : Train P21/95 après relevage : gros plan sur la déconnexion des wagons WM/WF.....	77
Annexe 16 : Restes du groupe de travail.....	78
Annexe 17 : Essieu G après repêchage dans le Rhône.....	79
Annexe 18 : Traverse de liaison de l'essieu G.....	80
Annexe 19 : Câble et vérin de levage du groupe de travail.....	81
Annexe 20 : Sécurité de verrouillage : goupille bêta susceptible d'être utilisée pour bloquer la broche de verrouillage.....	82
Annexe 21 : Déformation de la voie 1 entre les aiguilles 311 et 310.....	83
Annexe 22 : Vue aérienne du site ferroviaire de Culoz, depuis le triage jusqu'au pont ferroviaire du Rhône.....	84
Annexe 23 : Débattements transversaux du groupe de travail du train P21/95 lors des circulations en courbe de rayon serré.....	85
Annexe 24 : Eraflures visibles sur le dessous de boîte de la roue 34.....	86

Annexe 25 : Procédures de dégagement (ragréage) du train de renouvellement P21/95.....	87
---	----

Glossaire

- **Agent formation** : agent chargé de s'assurer de la composition conforme du train et de sa bonne préparation, dont la réalisation des essais de frein.
- **Balise KVB** : Contrôle de vitesse par balise
- **Crocodile** : appareil placé entre les rails, émettant un signal sonore en cabine de conduite, en fonction de la polarité des signaux rencontrés.
- **Forces Q** : forces verticales s'exerçant sur le rail au contact roue/rail.
- **Forces Y** : forces horizontales s'exerçant sur le rail au contact roue/rail.
- **Flasque** : partie mécanique verticale servant de support.
- **G.S.M.R.** : « Global System for Mobile communications Railways » : technologie numérique pour la radio sol-train du système ferroviaire.
- **IPCS (Installations Permanentes de Contre Sens)** : les lignes à fort trafic peuvent être équipées d'installations de signalisation permettant aux trains de circuler dans les deux sens sur chaque voie.
- **Mise en véhicule d'un engin moteur** : action de déconnecter un certain nombre d'organes actifs qui concourent au fonctionnement autonome de l'engin de façon à l'acheminer dans un train comme un simple véhicule remorqué (par exemple : débrayer les engrenages de transmission d'effort moteur).
- **Pk** : point kilométrique
- **PRS (Poste tout Relais à transit Souple)** : poste d'aiguillage permettant de commander les aiguilles de façon à tracer automatiquement les itinéraires pour le passage des trains.
- **RAT** : Reconnaissance Aptitude au Transport
- **Reconnaisseur** : agent d'exploitation chargé de vérifier l'aptitude au transport d'un matériel roulant ferroviaire après que celui-ci ait fait l'objet d'opérations de chargement/déchargement ou de tout autre conditionnement.
- **TCO** : Tableau de Contrôle Optique permettant à l'agent circulation de visualiser l'état d'occupation des voies par les trains et l'affichage des signaux de la zone ferroviaire dont il a la charge pour la circulation de ces trains.
- **Traversée jonction double (TJD)** : combinaison d'une traversée et de quatre aiguilles permettant tous les accès.
- **Traversée jonction simple (TJS)** : combinaison d'une traversée et de deux aiguilles permettant l'accès entre deux voies.
- **TTX** : train de travaux
- **UIC (fiche UIC)** : documents techniques établis sous l'égide de l'Union Internationale des Chemins de Fer (organisme de coopération technique ferroviaire émanant des différents réseaux ferroviaires à l'époque où ces réseaux étaient des entreprises intégrées), pour favoriser l'interopérabilité des matériels ferroviaires.

Résumé

Le lundi 24 juillet 2006, vers 18h30, le train de travaux 818 729 s'achemine depuis la gare de Culoz (son lieu de stationnement) vers le chantier de renouvellement de voie Moirans-Grenoble . Pendant la période de mise en vitesse progressive du train, au passage dans la gare voyageurs de Culoz, le « groupe de travail » déraille. Ce « groupe de travail » est l'organe retirant les vieilles traverses, déposant les traverses nouvelles et régaland le ballast, dont l'appui sur la voie se fait au moyen d'un essieu de délestage.

L'essieu de délestage, après son premier déraillement au pk 101,747 de la voie Culoz - Aix-les-Bains, saute plusieurs fois de part et d'autre de la voie 1, tandis que le groupe de travail se disloque, après avoir perdu la broche de verrouillage côté droit du bras support de l'essieu de délestage. Bien que le déraillement ait été observé par des agents ferroviaires, le conducteur du train ne peut être alerté, ce train ne disposant pas de radio sol-train. Le groupe de travail désarticulé engage les gabarits bas et latéraux. Au pk 103,222 à l'origine du pont sur le Rhône, alors que la tête du train de travaux est largement engagée, la masse hors gabarit du groupe de travail heurte le tablier de la première travée du pont ; cette travée quitte ses appuis et s'affaisse. Un certain nombre de pièces du train P21/95 tombe dans le Rhône, dont l'essieu de délestage.

Un blessé léger est à déplorer, d'une entreprise de travaux travaillant à proximité à la construction d'un nouveau pont en remplacement de l'actuel.

Les conséquences sont importantes : le tablier du pont de la voie 1 est détruit, la partie active du train spécialisé P21/95 est détruite. Le trafic est interrompu pendant deux jours sur les deux voies 1 et 2 reliant Culoz à Aix-les-Bains. Le trafic reprend ensuite sur la voie 2, tandis que le trafic de la voie 1 ne sera rétabli qu'au bout d'un an et 24 jours grâce à la mise en service d'un nouveau pont.

Les conditions de traction ne sont pas en cause, de même pour l'infrastructure ferroviaire qui ne nécessitait pas de mesure correctrice immédiate.

La cause directe immédiate du déraillement est un déchargement de la roue gauche de l'essieu de délestage en présence d'un gauche de raccordement de sortie de courbe, résultant probablement d'une conjonction de trois facteurs :

- une probable dissymétrie de répartition de masses du groupe de travail de l'engin ;
- une rigidité torsionnelle de l'ensemble (groupe de travail et la suspension associée de l'essieu de délestage) plus grande qu'à l'origine ;
- des déchargements alternés roue droite/roue gauche de l'essieu de délestage provenant des à-coups transversaux de la liaison assurant la sustentation du groupe de travail.

Un quatrième facteur est écarté (influence d'une configuration anormale du système de relevage du groupe de travail), faute d'avoir pu réaliser l'ensemble des tests l'impliquant.

Les conditions d'homologation de l'engin P21/95, qui comporte un élément suspendu complexe, se sont révélées insuffisantes pour disposer d'une connaissance adéquate du comportement dynamique de cet engin.

Les conséquences du déraillement ont été aggravées par l'absence de liaison radio sol-train.

Une sécurisation insuffisante de la mise en véhicule de l'engin s'est manifestée par la perte de la broche de verrouillage du bras droit du groupe de travail (engagement probablement inefficace de la broche, absence de sécurité de verrouillage de la broche par goupille); par ailleurs, il est apparu nécessaire de renforcer la traçabilité des échanges entre les opérateurs en charge du mouvement du train de travaux.

L'examen des conditions de cet accident amène à émettre une recommandation concernant la vérification des trains de travaux avant acheminement en ligne (consistance des vérifications et rôle des opérateurs).

Concernant les liaisons sol-bord, une recommandation est émise en faveur de l'équipement de tels trains de travaux en liaison radio sol-train.

Il est enfin recommandé, pour les futurs engins de travaux de voie d'architecture complexe, de vérifier l'aptitude au franchissement des gauches de voie, et d'appliquer pour l'essai en ligne de dynamique ferroviaire, le protocole complet du référentiel prévu pour les véhicules de technologie nouvelle.

1- Engagement de l'enquête

Le lundi 24 juillet 2006, le train de travaux 818 729 s'achemine depuis la gare de Culoz vers le chantier de renouvellement de voie Moirans - Grenoble en empruntant la voie 1 en direction d'Aix-les-Bains. Le parcours d'approche Culoz - Moirans est d'environ 130 km, à effectuer sur des lignes exploitées en trafic commercial ; ce train de travaux circule sur ces lignes entre les circulations commerciales du moment et selon le même régime de vitesse et de sécurité. Un désordre se produit sous ce train, se traduisant par le déraillement d'un essieu. Le train de travaux déraillé engage le gabarit puis heurte la poutre latérale du tablier de la voie 1 : le train se disloque, le tablier du pont ripe et s'affaisse entre la culée côté Culoz et la première pile du pont.

Un seul blessé léger est à déplorer, mais les dégâts matériels sont considérables (matériel roulant et installations fixes) : la voie 1 entre Culoz et Aix-les-Bains est inutilisable pendant plus d'un an.

Cet accident a gravement mis en cause la sécurité de l'exploitation ferroviaire (engagement inopiné du gabarit de la voie contiguë ouverte aux circulations commerciales) et a réduit fortement la capacité de circulation de l'axe Culoz - Aix-les-Bains (trafics régionaux, nationaux et internationaux) pendant plus d'un an.

Le montant des dégâts matériels résultants de ce déraillement est largement supérieur au seuil de deux millions d'euros caractérisant un accident grave au sens de la directive européenne 2004/49 CE, et impliquant l'engagement obligatoire d'une enquête technique selon les termes de l'article 19-1 de cette directive.

Compte tenu de ces éléments, une enquête technique a été décidée par le ministre chargé des Transports et confiée au BEA-TT le 04 août 2006, dans le cadre de la loi 2002-3 du 3 janvier 2002 et du décret 2004-85 du 26 janvier 2004 (annexe 1).

2- Constats immédiats

2.1- Circonstances de l'accident

Le lundi 24 juillet 2006, le train de travaux 818 729 s'achemine voie 1 (direction d'Aix-les-Bains) depuis son lieu de garage dans le triage de Culoz vers sa zone de travail, le chantier de renouvellement de voie et ballast Moirans - Grenoble à 18h22. Dans la courbe de sortie de la gare de Culoz, le système de pose/dépose des traverses et de régalage du ballast (baptisé « groupe de travail »), supporté en porte à faux par un essieu escamotable, déraile de cet essieu au pk* 101,747 alors que la vitesse du train est de 35 km/h. Le gabarit bas est engagé ainsi que le gabarit latéral. L'appareillage inférieur de ce train de travaux arrache le matériel en voie, parcourt plus de 2 km et vient heurter le montant vertical de la paroi latérale du tablier du pont sur le Rhône au pk 103,222. Le train se disloque, le tablier du pont de la voie 1 s'affaisse entre la culée côté Culoz et la première pile du pont. La voie 2 entre Culoz et le pont sur le Rhône a subi aussi des avaries, la rendant momentanément impropre à la circulation des trains. L'annexe 22 montre une vue aérienne du site ferroviaire de Culoz, depuis le triage jusqu'au pont ferroviaire sur le Rhône.

Un seul blessé léger est à déplorer, d'une entreprise de travaux publics chargée de construire un nouveau pont ferroviaire sur le Rhône en remplacement de l'actuel. Les dégâts matériels sont considérables. La rame spécialisée de ce train de travaux dite « P21/95 » est rendue inutilisable ainsi que le tablier de la voie 1 (à noter que les deux tabliers sur le Rhône de cette ligne Culoz - Aix-les-Bains sont en travaux préparatoires pour leur renouvellement à l'été 2007). Stationnée sous ce pont, la voiture d'un géomètre est défoncée par les pièces tombant du tablier ou des wagons.

Les conditions météorologiques se caractérisent par un temps ensoleillé très sec et une température ambiante avoisinant 35° C.

L'agent circulation du PRS* reçoit un appel téléphonique d'un agent de maintenance des installations électriques (en situation de repos), qui voit le train de travaux en train de dégrader la voie et demande l'arrêt d'urgence. A ce moment-là, cet agent circulation constate des déconrôles d'aiguille sur la voie 1. Il applique la procédure d'urgence prescrite en pareil cas, mais celle-ci est sans effet sur la course du train : la coupure d'urgence du courant de traction est sans effet pour un train de travaux en traction diesel, les signaux dont il commande la fermeture ont déjà été franchis par le train.

Les conducteurs (tête et queue) de l'entreprise de travaux ainsi que le pilote SNCF dans la locomotive de tête ressentent un choc violent et constatent la mise à l'atmosphère de la conduite générale d'air comprimé du frein. Le train s'immobilise sur une cinquantaine de mètres, en stationnant du fait de sa longueur de part et d'autre du pont. Le pilote SNCF prévient le régulateur par le téléphone de voie pour interdire toute circulation ferroviaire dans la zone et fait prendre les mesures complémentaires sur le terrain (barre de court-circuit, pétard, jalon d'arrêt) pour la protection de l'obstacle vis-à-vis des deux sens de circulation.

2.2- Secours

En l'absence de conséquences corporelles graves, les services de secours extérieurs à la SNCF n'ont pas eu à être sollicités. Les moyens techniques de la SNCF et de ses sous-traitants ont effectué les relevages nécessaires des éléments avariés du train de travaux, ainsi que les réparations provisoires de l'infrastructure ferroviaire pour la rendre apte à la circulation.

* Terme figurant dans le glossaire

2.3- Pertes humaines, personnes blessées, dégâts matériels

2.3.1- Personnes blessées

Cet accident a causé un blessé léger : un ouvrier de l'entreprise construisant le nouveau pont. Cet ouvrier, qui se trouvait en contrebas du pont sur la berge du Rhône, a reçu sur la tête des débris du train accidenté.

2.3.2- Dégâts matériels

La partie de tête du train a subi une rupture d'attelage entre le « wagon force » WF et le wagon précédent, entraînant sous l'effet du choc le déraillement du bogie avant de ce wagon WF. Le « groupe de travail » du train spécialisé P21/95 s'étant encastré dans la paroi latérale du tablier du pont, provoque, sous la poussée de la queue du train (trois locomotives poussent le train) et de l'inertie d'ensemble du train, le déplacement longitudinal du tablier, puis son affaissement entre la culée côté Culoz et la première pile du pont (annexe 2).

Dégâts subis par le pont : pour le pont de la voie 1, la première travée est complètement irrécupérable. Les travées 2 et 3 présentent de tels désordres qu'il semble déraisonnable de réaliser une remise à niveau pour permettre une reprise des circulations ferroviaires. Une telle remise à niveau demanderait un délai supérieur à la mise en place du pont neuf actuellement en cours de réalisation, avec sans doute un coût également supérieur. Les observations réalisées sur le pont de la voie 2 n'ont pas mis en évidence de comportement anormal du tablier ; l'ouvrage a été soumis à une surveillance topographique sur chaque pile. Finalement, les dégâts subis par le pont de la voie 1 l'ont rendu inutilisable et inapte à être réparé pendant l'année avant le lancement du nouveau pont.

Autres dégâts :

Les poteaux caténaires de cette voie 1 ont eux aussi été endommagés sur une longueur de 500 mètres en amont du pont, ces avaries étant causées par l'engagement de gabarit du train P21/95 en désordre.

Plusieurs éléments du train P21/95 tombent dans le Rhône ; ce matériel spécialisé est quasiment détruit, certaines parties pouvant néanmoins faire l'objet de récupération. La voiture d'un géomètre stationnée sous le pont est endommagée.

La voie 1 est déformée depuis l'aiguille 305 du pk 101,800 (raccordement de la voie de la sous-station et la voie C de la gare de Culoz avec la voie 1) jusqu'au pont sur le Rhône, au pk 103,300. Sur ce parcours, les aiguilles 311 (raccordement de la voie vers Genève) ainsi que les aiguilles 310 et 312 de l'IPCS* voie 1/voie 2 sont détériorées.

La voie 2 est déformée (dérilage sous la poussée des pièces traînantes) au droit des aiguilles 310a et 312b de communication des installations permanentes de contre sens (IPCS), la rendant aussi inapte à la circulation des trains.

2.3.3- Conséquences d'exploitation

Tout trafic ferroviaire entre Culoz et Aix-les-Bains a été immédiatement interrompu sur les deux voies 1 et 2. Deux jours après l'accident, dès réparation des aiguilles 305, 311, 310 (a et b) et 312 (a et b), le trafic total a été organisé sur la seule voie 2 en utilisant le pas d'IPCS existant au départ de Culoz d'une longueur de 8,5 km (cinq cantons de sens normal et deux cantons de contre sens). La voie 1 a été interdite à la circulation ferroviaire depuis le 24 juillet 2006 jusqu'au remplacement du tablier avec son équipement le 17 août 2007 (le remplacement des deux tabliers de ce pont sur le Rhône faisait l'objet d'un programme de renouvellement, en cours d'initialisation).

* Terme figurant dans le glossaire

Pour atténuer les conséquences de la réduction du débit ferroviaire sur cet axe, les spécialistes horaires ont adapté le graphique de circulation de tous les trains circulant sur cet axe.

- pour le trafic « Voyageurs France Europe » : retenue de cinq minutes à Culoz du TGV 9249 Paris - Aix-les-Bains.
- pour le trafic régional : suppression de deux aller-retour TER sur le parcours Aix-les-Bains - Culoz et remplacement par service de cars, et modifications des horaires de 19 TER pour maintenir les correspondances voyageurs à Chambéry, Lyon Part-Dieu et Valence-TGV.
- adaptations de l'horaire d'une vingtaine de trains de fret.

Ce travail d'adaptation n'a pas pu totalement éliminer les retards de trains de voyageurs, qui se sont élevés à environ 450 minutes par jour.

En outre, le trafic voyageur devant assurer les pointes du service d'hiver 2006/2007 a été estimé impossible à assurer. La SNCF et RFF ont décidé d'investir dans l'installation d'un tronçon commun temporaire de deux kilomètres de longueur de part et d'autre du Rhône (de façon à réduire la portion de voie unique, obligeant à la circulation en alternat entre Culoz et Aix-les-Bains, de huit à deux kilomètres) pour assurer 10% à 20% de circulations ferroviaires supplémentaires.

2.3.4- Conséquences sur les travaux de voie relatifs au réseau ferré national

Le chantier de renouvellement de voie Moirans - Grenoble en cours n'a pas pu s'achever comme prévu. En outre, l'entreprise de travaux concernée devant exécuter ensuite, avec le même engin P21/95, un chantier semblable sur la section de ligne Montereau - Tonnerre, ce dernier chantier a été réduit dans sa consistance.

2.4- Organisation de l'enquête technique

L'enquêteur technique a examiné les portions de voie où le train de travaux a circulé (triage de Culoz : voie 52, voie 28, itinéraire depuis la voie 28 jusqu'à la voie D, puis la voie 1 vers Aix-les-Bains jusqu'au pk 103,222 au pont sur le Rhône).

Le matériel P21/95 accidenté, remisé dans le triage de Culoz, ainsi que les pièces tombées sur la voie depuis le pk 101,769 (remisées dans un enclos spécifique) ont pu être examinés.

L'enquêteur a pu observer un autre matériel P95 en fin de fabrication chez le constructeur, et s'est fait montrer les manoeuvres d'engagement et de dégagement du groupe de travail ainsi que de l'essieu G. Il a eu aussi l'occasion d'observer ce même train de renouvellement en phase de travail lors du chantier de renouvellement de voie Orléans - Vierzon le 17 mai 2006.

Cet accident fait par ailleurs l'objet d'une enquête judiciaire impliquant plusieurs parties : SNCF, RFF, Entreprise de travaux ferroviaires, constructeur du train P21/95, sous-traitants fournisseurs de l'essieu G ; l'enquêteur a assisté à certaines séances d'expertises contradictoires entre les parties conduites par les experts judiciaires. Il a eu accès aux divers documents de référence de la SNCF, ainsi qu'à certains documents de l'entreprise de travaux ferroviaires et du constructeur de l'engin, et a rencontré les responsables de ces deux entreprises.

Au moment où ce rapport est émis, certains éléments d'investigation de l'Autorité Judiciaire sont encore en étude et pourront conduire à des analyses plus fines que celles qui ont été prises en compte dans le présent rapport.

3- Eléments de contexte

3.1- La ligne d'accès à l'Italie

L'axe Ambérieu - Culoz - Aix-les-Bains est l'itinéraire principal du trafic voyageurs et fret entre la France et l'Italie. De Culoz part aussi une double voie vers Bellegarde et au delà (Genève, Annemasse).

3.2- L'infrastructure

Cet itinéraire ferroviaire est électrifié. Dans la zone de gare de Culoz, voie D (ou voie 1), la voie est équipée de longs rails soudé UIC* 60 (60 kg par mètre) ; les traverses sont soit en chêne, soit en béton monobloc, la liaison rail-traverse se faisant avec attaches « nabla ». Le travelage est de 1 666 traverses au kilomètre. Les traverses sont posées sur ballast.

Entre les pk 101,684 et 102,202, la voie a été renouvelée en 2000.

3.3- Le trafic

Une cinquantaine de trains de toutes natures (TGV, trains classiques, automotrices, fret) circulent quotidiennement sur chacune des voies 1 et 2 Culoz - Aix-les-Bains, précisément à l'endroit où le déraillement s'est produit.

3.4- Le train de travaux 818 729

Un chantier de renouvellement de voie est en cours sur la ligne Moirans - Grenoble depuis le 05 juin 2006. Le train de travaux (TTX) affecté à cette mission est basé sur les voies du triage de Culoz, où il peut stationner et être entretenu par son entreprise propriétaire. Depuis cette base de travaux vers le chantier prévu (environ 130 km), le train de travaux circule pour le compte du Gestionnaire d'Infrastructure, selon les mêmes modalités de circulation que les trains de fret et de voyageurs. La partie active de ce TTX est constituée d'une rame spécialisée dite « train de renouvellement de voie P21 », propriété de l'entreprise de travaux ferroviaires « ETF » (le constructeur suisse MATISA de cet engin le désigne « P95 »). Ce matériel spécialisé est immatriculé « RS 3 ATA 0480 ». La partie active P21/95 est complétée à l'avant et l'arrière par des wagons « classiques » transportant des traverses (neuves et usagées) et du ballast (neuf et usagé) ; enfin, le tout est tiré par trois locomotives diesel et poussé par trois autres locomotives diesel. Le 24 juillet 2006, ce TTX* 818 729 mesurait 746 m de longueur, pour une masse totale de 2 133 tonnes. Ce train a circulé sans difficulté particulière tous les jours de travail depuis le 05 juin jusqu'au 24 juillet 2006. Outre les engins moteurs, le train est composé de 32 wagons.

Composition du train de travaux 818 729 :

De la tête vers la queue du train se trouvent les véhicules suivants :

- 3 locomotives diesel type « V 211 » de l'entreprise ETF,
- 10 wagons trémies chargés de ballast (B),
- 2 wagons plats chargés d'une grue et d'un bungalow ainsi qu'un wagon couvert (w.g) (w.bg),
- la rame spécialisée de l'entreprise ETF (nom de code « P21/95 ») qui assure les fonctions de retrait des vieilles traverses, mise en place des nouvelles traverses, de retrait du rail ancien et de pose des rails neufs et assure le « régalage » du ballast (« égalisation » du ballast précédemment déversé). Cette rame mesure 139 mètres de long, pèse 390 tonnes

* Terme figurant dans le glossaire

et comporte 21 essieux qui se répartissent en 10 bogies et un essieu isolé escamotable (dit essieu de délestage ou essieu « G »),

- 3 wagons plats chargés de traverses (T),
- un wagon « poubelle » (w.p),
- 12 wagons plats de traverses (T),
- un wagon trémie et un wagon plat chargé d'une pelle mécanique (w.tr) et (w.p),
- 3 locomotives diesel type « V 211 » de l'entreprise ETF.

La silhouette du train peut être stylisée de la façon suivante (en partant de la queue vers la tête du train) :

(loc)(loc)(loc)(w.tr)(w.p)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(T)(w.p)(T)(T)(T) (--rame P21/95--)
(w.g)(w.bg)(B)(B)(B)(B)(B)(B)(B)(B)(B)(B)(loc)(loc)(loc).

Deux conducteurs de l'entreprise ETF sont engagés pour la circulation de ce train : un conducteur ETF dans la locomotive de tête et un autre dans la dernière locomotive de queue. En outre, un pilote SNCF assiste le conducteur de tête. Les deux conducteurs peuvent communiquer entre eux en utilisant chacun un poste radio portatif « de manoeuvre ».

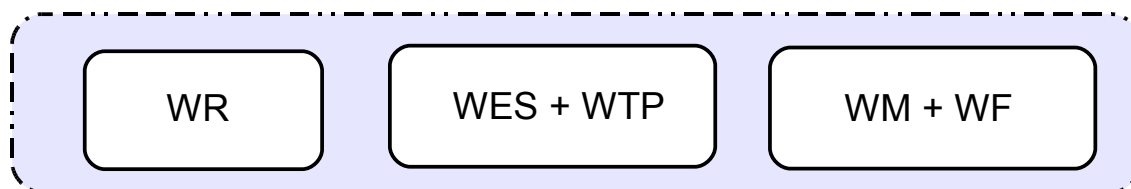
3.5- Le train de renouvellement P21/95

3.5.1- Technologie

Ce train est conçu et fabriqué par la société suisse MATISA ; il est mis en oeuvre sur le réseau ferré national par l'entreprise de travaux ETF (Européenne de Travaux Ferroviaires). Cinq parties constituent ce train :

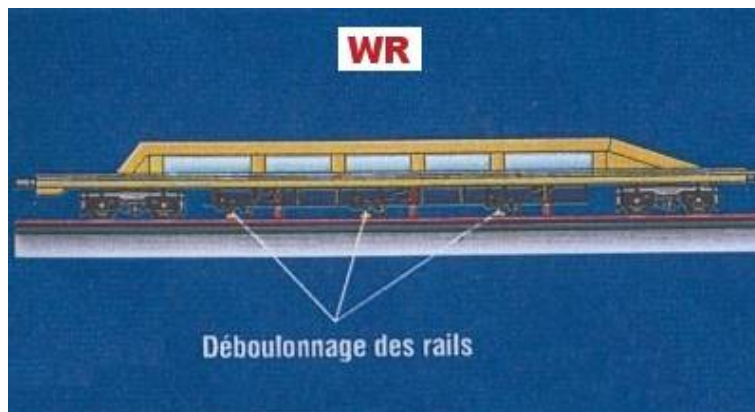
- WR : wagon pour le déboulonnage des attaches de rails,
- WES : wagon pour le stockage et le ramassage du petit matériel ainsi que le déboulonnage complémentaire des attaches de rails,
- WTP : wagon gérant les palettes de traverses (traverses neuves et anciennes),
- WM : wagon de stockage de matériel,
- WF : wagon force.

Le diagramme ci-dessous montre le profil de ce train :

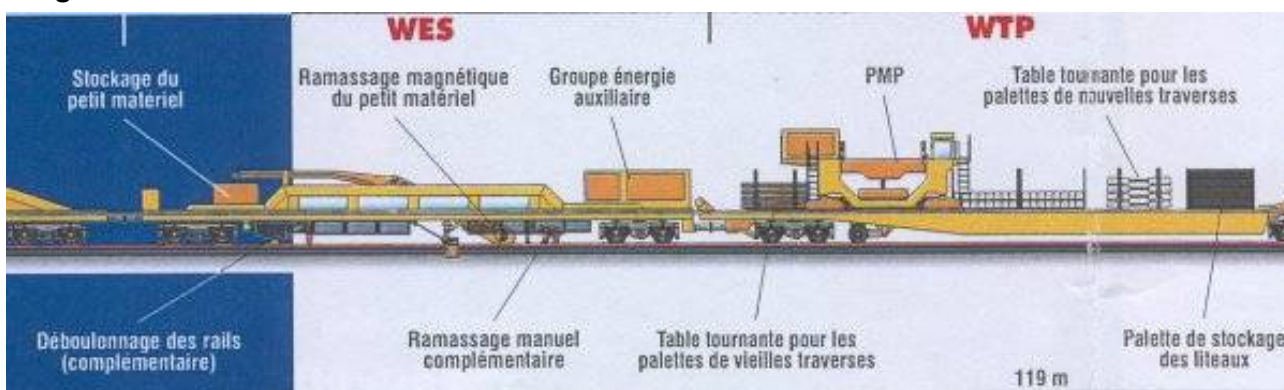


P 21/95

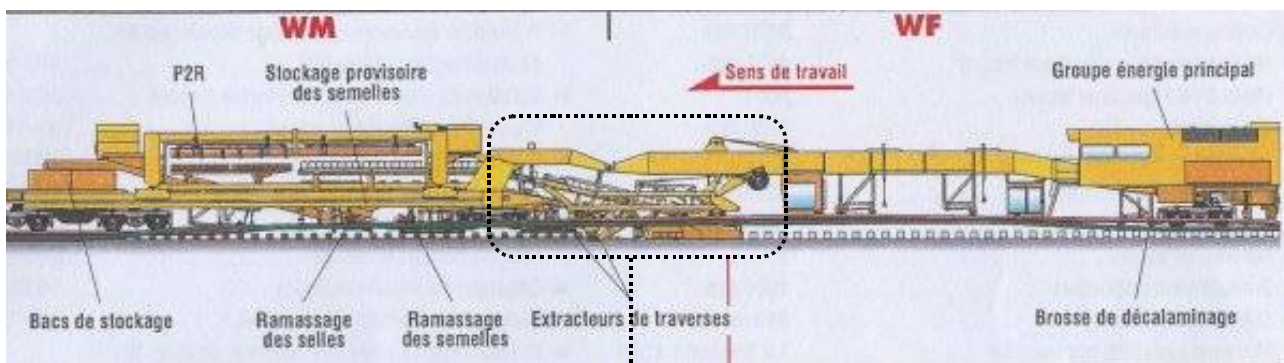
wagon WR



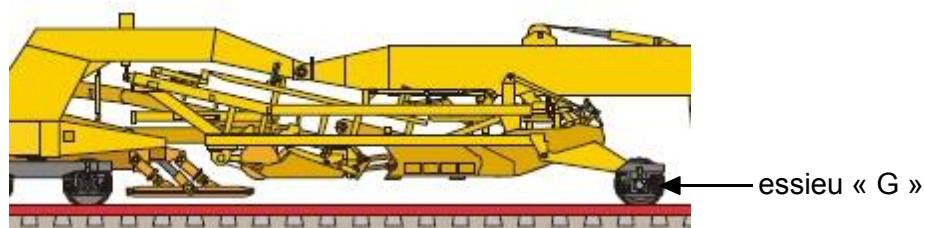
wagons WES et WTP



wagons WM et WF



détail du « groupe de travail »



Les wagons WM et WF sont accouplés par un système de deux poutres articulées, comme le feraient deux éléphants avec leur trompe. Les wagons WM et WF, sous leur articulation de poutres, mettent en oeuvre un « groupe de travail », destiné à retirer les vieilles traverses, à niveler le ballast et à poser les traverses neuves. En phase de « travail », le « groupe de travail » prend appui sur le wagon WM qui, avec les deux chenilles positionnées verticalement à la place des rails, repose sur le sol (constitué de traverses) par ces deux chenilles ; en phase d'acheminement en ligne, le « groupe de travail » est relevé et l'ensemble WM - WF avec le « groupe de travail » engage sur les rails un essieu (dit « essieu de délestage », dénommé par ailleurs « essieu G »). Cet essieu G assure un double rôle :

- participe à la répartition des masses sur rail de l'ensemble ferroviaire représenté par le train de renouvellement (au niveau d'environ 9,8 tonnes),
- assure le shuntage des circuits de voie courts, car l'intervalle entre le 16ème essieu (du bogie B) et le 18^{ème} essieu (du bogie D) est de 28,8 mètres

3.5.2- Agrément

Le train de renouvellement P21/95, comme tout matériel spécifique pour travaux sur infrastructure ferroviaire, est admis à circuler et à travailler sur le réseau ferré national après qu'il ait été déclaré conforme aux prescriptions en vigueur lors de son homologation. Le référentiel actuellement applicable aux nouveaux trains de travaux est le référentiel « IN 1418 = Matériel d'entreprises de travaux ; agréments de circulation sur le réseau ferré national ; maintenance, contrôle ».

Ce référentiel définit les conditions d'agrément d'un matériel de travaux en voie concernant la conception, la qualité de construction et la maintenance :

- procédures d'agrément de circulation : principes, procédure d'agrément, ré-agrément-retrait de l'agrément de circulation, immatriculation du matériel,....
- caractéristiques générales : vitesse limite minimale de circulation, comportement dynamique, assemblages mécano-soudés....(respect des critères définis dans la fiche UIC 518),
- caractéristiques d'infrastructure : gabarit, châssis, chasse-pierre, attelage, tamponnement,....
- caractéristiques de organes de roulement : conception, charges supportées par les essieux, diamètres des roues et charges admissibles correspondantes, répartition des charges,.....
- caractéristiques de freinage : équipement minimal obligatoire du matériel selon sa catégorie, efficacité demandée, prescriptions relatives aux organes de frein,.....
- caractéristiques de superstructure : zones accessibles au personnel, parties saillantes, réservoirs à carburant, échappement, protection contre les risques d'incendie,.....
- caractéristiques relatives aux cabines et postes de conduites,
- caractéristiques relatives aux équipements de sécurité : équipements embarqués de signalisation et de sécurité, fonctionnement des installations de sécurité,
- caractéristiques diverses : fonctionnement en unité multiple, en double traction, en traction multiple, en pousse attelée,.....
- maintenance : conception du schéma de maintenance des organes liés à la sécurité des circulations, opérations d'entretien, traçabilité de la maintenance, appareils enregistreurs,
- contrôles : principes généraux, contrôles avant expédition, contrôles techniques, contrôles inopinés.

A l'époque de l'élaboration du dossier d'agrément (années 1999/2000), le référentiel d'agrément s'appelait « CG MR3A n°3 » ; l'ensemble des critères à respecter a été repris dans le référentiel IN 1418, qui exigeait le respect des prescriptions de la fiche UIC 518 (essais et homologation de véhicules ferroviaires du point de vue du comportement dynamique – Sécurité - Fatigue de la voie - Qualité de marche) en n'exigeant pour de tels engins spéciaux qu'une méthode simplifiée accélérométrique. La société MATISA a effectué les essais de dynamique ferroviaire UIC 518 avec le concours du service spécialisé de la SNCF.

Principes de maintenance : en ce qui concerne la maintenance, l'article 3.1 de l'IN 1418 (identique à l'article homologue de l'ancienne CG MR3A) « principes généraux » expose :

« ...la responsabilité de la maintenance du matériel agréé incombe au propriétaire qui doit se conformer à toutes les dispositions législatives ou réglementaires en vigueur [...] le véhicule et ses accessoires doivent être maintenus en bon état de façon à garantir l'aptitude à circuler en toute sécurité. »

La poursuite de cet objectif implique la mise en oeuvre d'une politique de maintenance à caractère préventif. Dans ce but, le propriétaire doit définir le schéma de maintenance de l'infrastructure (châssis, organes de roulement, bogies, organes de suspension, de choc, de traction et de frein), en tenant compte des prescriptions de la SNCF et du constructeur.

La maintenance de la superstructure est laissée entièrement à la responsabilité du propriétaire.

Le schéma de maintenance a été approuvé par l'organisme d'homologation, la SNCF au moment de la présentation du dossier ; aujourd'hui, une telle approbation serait donnée par l'Etablissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF).

Autorisation de circulation à 100 km/h

La procédure d'agrément nécessite que le comportement dynamique du train soit évalué, à la vitesse d'acheminement demandée, selon les procédures définies dans la fiche UIC 518. Nous rappelons qu'au moment de la présentation du dossier d'agrément (1999) auprès de la SNCF, la validation du comportement dynamique selon la fiche UIC 518 n'exigeait pour de tels engins qu'une méthode simplifiée accélérométrique.

La méthode nécessitait les mesures suivantes :

- les mesures accélérométriques sur châssis de bogie et en caisse,
- les mesures accélérométriques sur l'essieu G et son châssis.

Le parcours d'homologation a été réalisé en Suisse, sur la double voie Lausanne - Berne, entre les gares de Palézieux et Fribourg, entre les pk 21,0 et 62,0. La plage des vitesses explorées s'est élevée jusqu'à 100 km/h + 10% comme il est de règle en matière de vitesse limite autorisée. Le parcours d'homologation prenait en compte des tronçons en alignement et en courbe. Les essais en ligne, réalisés avec des roues au profil neuf, ont entraîné comme commentaire pour l'acceptation que l'évolution du profil dans le temps est à surveiller : la conicité équivalente en service ne doit pas dépasser de plus de 50% la valeur constatée lors des essais (0,025 sur rails UIC 60). En cas de dépassement de cette valeur de conicité équivalente, un nouvel essai se révèle nécessaire, selon l'homologateur.

Ayant bénéficié d'un reprofilage un mois auparavant, l'essieu de délestage pouvait être considéré comme respectant ce critère car le reprofilage a respecté la pente de la table de roulement

au 1/40 inhérente aux engins de conception germanique, d'autant que les « essais UIC 518 » réalisés en Suisse à l'initiative du constructeur l'ont été avec ce profil au « 1/40 ». Le débat sur la pente de la table de roulement à adopter (1/20 ou 1/40) pour le reprofilage de l'essieu intéresse la qualité de la stabilité de l'essieu aux vitesses élevées ; dans le cas présent, ce n'est qu'un facteur de second ordre pour ce type d'engin et aux conditions de circulation à basse vitesse dans la zone de Culoz.

3.5.3- Mise en oeuvre opérationnelle du train de renouvellement P21/95

En phase de travail, le bogie B de l'élément WM est relevé et repose sur le ballast par deux jeux de chenilles. Le groupe de travail, dont la cassette de pose/dépose des traverses est en action, est suspendu en hauteur (réglable) par le câble du vérin central, l'essieu G étant relevé et verrouillé en position haute.

La photo ci-dessous, prise lors du renouvellement de voie Orléans-Vierzon de mai et juin 2006, montre cet appareillage en ordre de fonctionnement, précisément sur le train qui a été accidenté. La roue 34 de l'essieu G, visible sur la photo, est celle qui est montée sur le rail à Culoz le 24 juillet 2006.

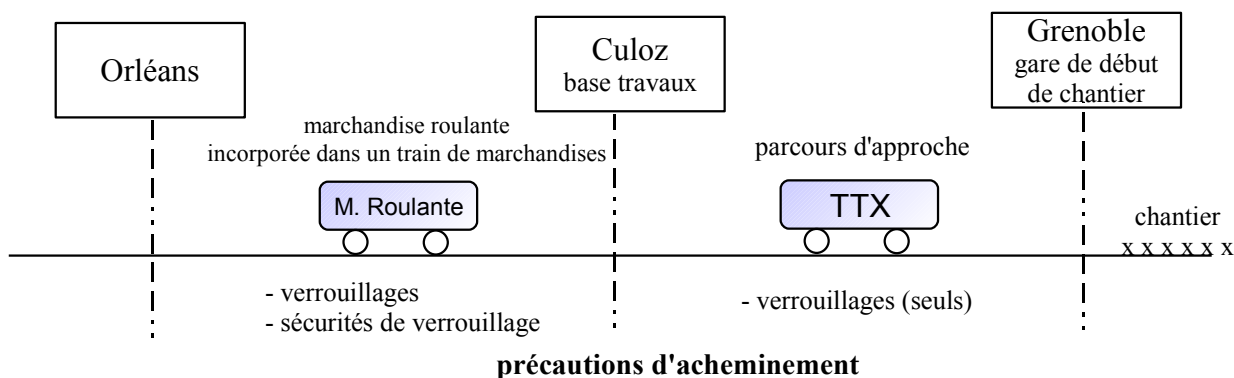


3.5.4- Préparation du train de renouvellement P21/95 de sa zone de travaux vers sa base de maintenance et vice versa

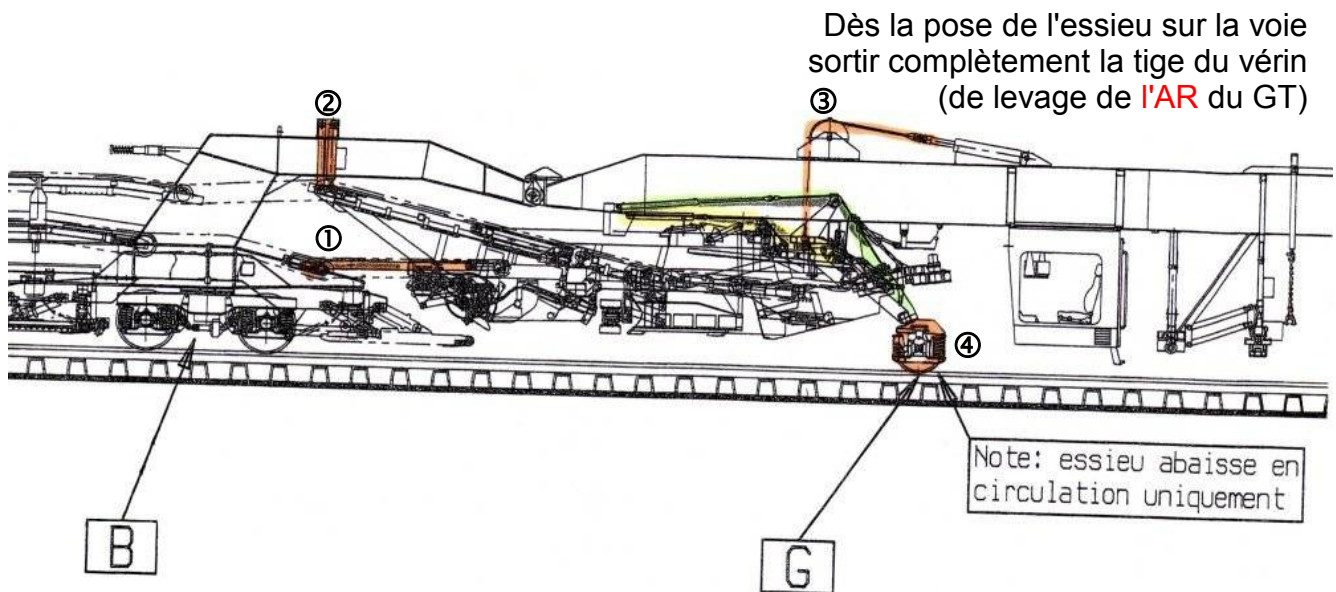
Pour que le train de renouvellement puisse circuler sur les voies du réseau ferré national exploitées commercialement, celui-ci doit avoir ses organes de travail neutralisés et relevés de façon à respecter le gabarit ferroviaire ; dans le cas particulier du train P21/95, l'essieu G de délestage doit être rendu à nouveau solidaire de la cassette et positionné sur la voie pour assurer sa fonction de soutien mécanique et de shuntage des circuits de voie.

Selon le référentiel IN 1418, paragraphe 2.2.2.1, il est spécifié que tous les verrous doivent être doublés par une élingue, une chaîne ou un dispositif équivalent, pour prévenir toute défaillance des verrous pendant les circulations autres que les parcours d'approche de chantier. Cette clause s'applique de la façon suivante :

- Pendant l'acheminement commercial de déménagement d'un chantier vers un autre chantier, le P21/95 circule en marchandise roulante incorporée dans un train de marchandises, ce qui nécessite d'engager les verrouillages et les sécurités de verrouillage,
- pour un acheminement entre la « gare base travaux » (lieu de l'entretien des engins et de l'approvisionnement des matériaux de rechanges), et le chantier : verrouillages seuls. C'est lors d'un tel acheminement depuis la « gare base travaux » de Culoz que s'est produit le déraillement.



Le schéma ci-dessous résume le système d'attaches verticales et horizontales de l'ensemble « groupe de travail-essieu G » avec le reste du train P21/95.



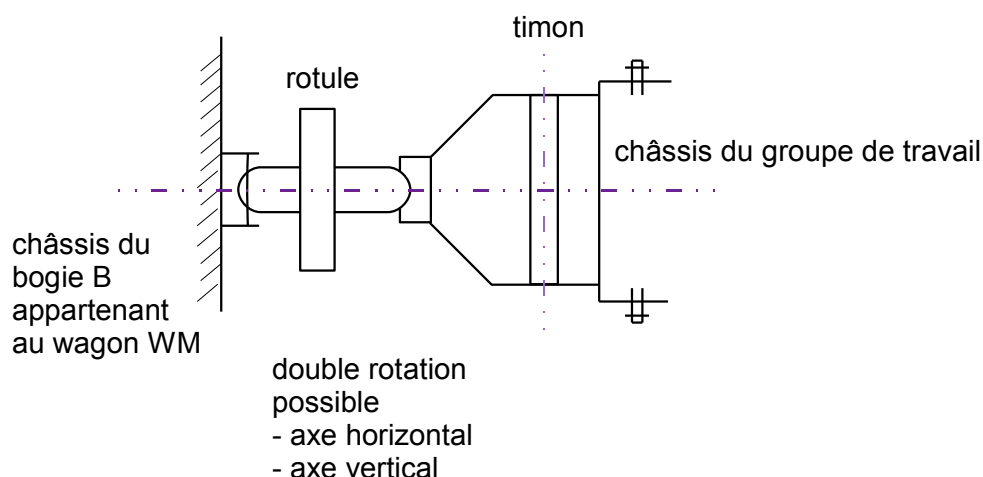
- cinématique du groupe de travail :
 - ① rotule de traction-poussée (forces horizontales)
 - ②+③ câbles et vérins de montée-descente du groupe de travail (forces verticales)
 - ④ essieu G sur la voie
- montée-descente de la cassette de pose des traverses
- pivotement de l'essieu G

La liaison verticale (point 2 du schéma) assure le maintien en altitude du groupe de travail, côté WM, l'autre maintien vertical étant assuré par la réaction verticale de l'essieu G ; cette liaison joue le rôle de deuxième essieu d'un bogie (fictif dans le cas présent) supportant le groupe de travail. Le principe général est de considérer le groupe de travail comme un wagon de dix mètres de long, comportant un essieu (G) d'un côté et de l'autre côté, au lieu d'un essieu, une suspension par « bretelle » (vérins verticaux (2)) ; cette suspension par bretelle trouvant son appui sur la voie par l'intermédiaire de toute la structure à trois bogies du wagon WM.

En phase de travail, le véhicule WM repose sur le ballast par l'intermédiaire de ses chenilles, le bogie B ne pouvant trouver d'appuis sur les rails, ceux-ci étant ripés latéralement à la voie. L'altitude du groupe de travail est réglée côté WM par les bretelles (vérins) de suspension (2), côté WF par le déroulement partiel du câble (3).

En phase de circulation ferroviaire « classique », l'essieu G assure le contact du groupe de travail avec la voie : il exerce sur celle-ci des efforts verticaux, des efforts transversaux et le mouvement longitudinal de circulation ferroviaire (traction ou pousse) est assurée par une liaison à rotule (indice 1 du schéma ci-dessus).

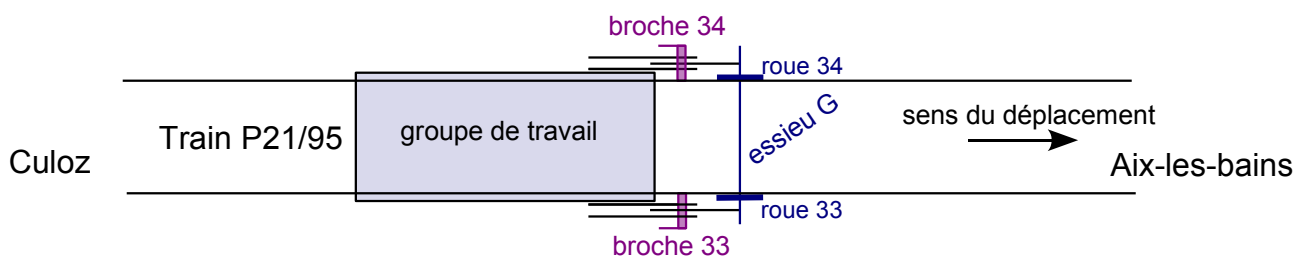
Cette liaison à rotule peut se schématiser par le croquis ci-dessous inspiré par le constructeur :



Déploiement de la liaison « groupe de travail »-essieu G

Un système de bras articulé est solidarisé entre le « groupe de travail » et l'essieu G pour obtenir un équipement roulant participant au roulement et à la sustentation du train de renouvellement. A cet effet, les bras articulés droite et gauche sont rendus solidaires par un axe (broche de verrouillage) traversant les flasques* constitutifs de ces bras.

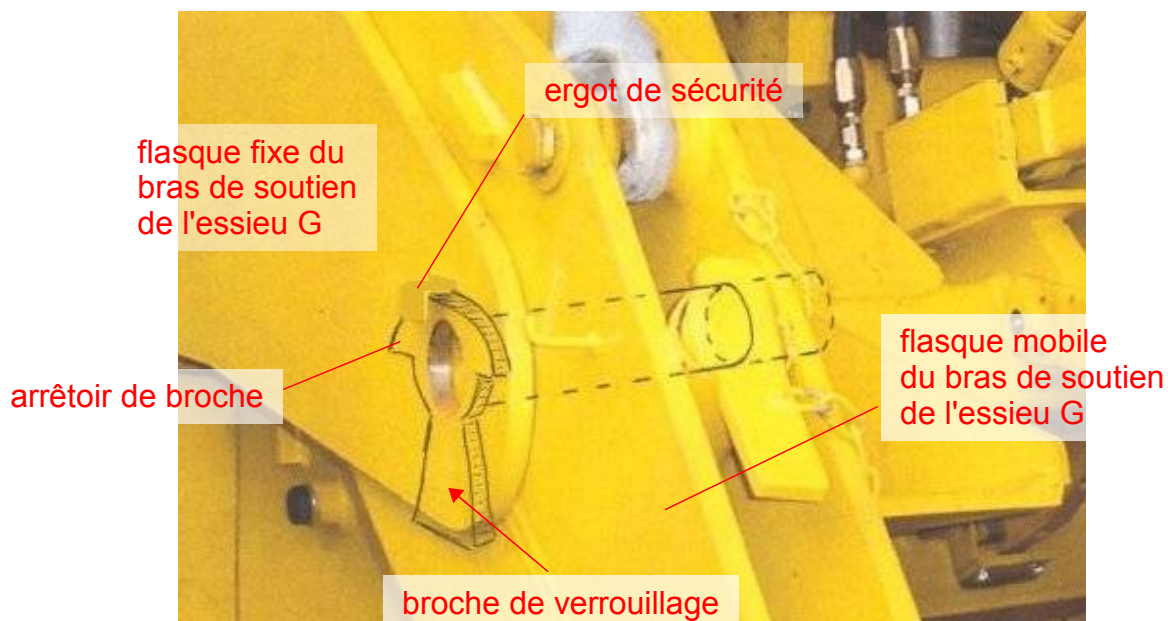
En vue de dessus schématique :



Les broches de verrouillage « 33 » et « 34 » :

La broche de verrouillage est enfilée dans les orifices des deux demi-bras de liaison groupe de travail/essieu G (en annexe 12, vue de la broche en position de repos dans son logement, et en annexe 13 la broche enfilée dans les deux flasques, rendant ainsi solidaires les deux demi-bras) pour le train en acheminement). Le diamètre de cette broche est de 40 mm. En configuration d'acheminement du train, chaque broche assure sa fonction de maintien de la liaison des deux demi-bras (de l'essieu G) lorsqu'elle est enfilée dans les orifices prévus à cet effet et bloquée en tournant l'axe de façon que l'arrêt soit bloqué derrière l'ergot de retenue soudé au flasque extérieur.

* Terme figurant dans le glossaire



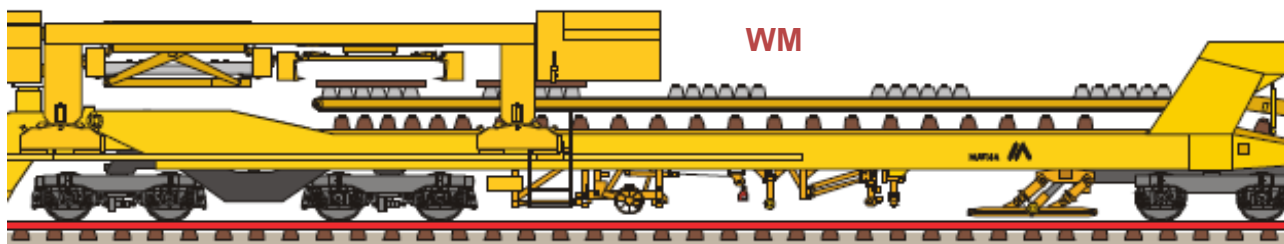
Broche de verrouillage dont l'arrêteur est correctement engagé sous l'ergot

Une chaînette de sécurité lie la broche de verrouillage au flasque de l'essieu, afin d'éviter de la perdre quand l'engin est en configuration de travail.

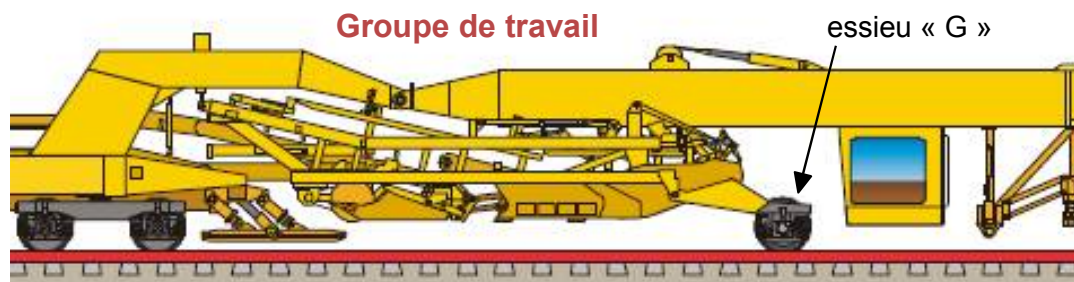
Mise en ordre de marche

La mise en ordre de marche du train P21/95 après une séquence de travail nécessite le verrouillage de certaines pièces pour assurer leur immobilisation effective. Les prescriptions de verrouillage pour les différents éléments du train figurent dans le document élaboré par le constructeur « Notice d'instructions P21/P95 LS 68007-f 380-01 ».

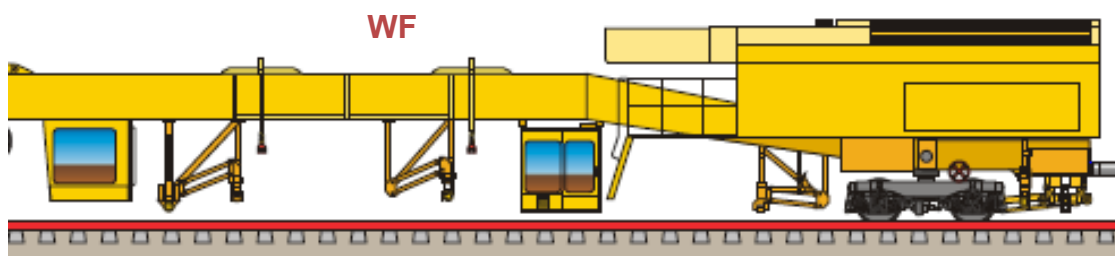
Pour ce qui concerne le wagon « stockage de matériels » WM, la notice d'instruction prescrit 26 opérations élémentaires pour en assurer le verrouillage.



Pour ce qui concerne le groupe de travail, la notice d'instruction prescrit 16 opérations élémentaires pour en assurer le verrouillage.



Pour ce qui concerne le wagon force « WF », la notice d'instruction prescrit 14 opérations élémentaires pour en assurer le verrouillage.



Plus récemment (23 janvier 2007) a été élaborée par le constructeur une notice complémentaire (annexe 25), intitulée « Procédure d'engagement et de dégagement d'un train de renouvellement » qui précise :

« Aussitôt que l'essieu du groupe de travail (essieu G) est posé sur la voie, il est très important de complètement sortir la tige du vérin de levage de l'arrière du groupe de travail, afin de donner du mou au câble de levage du groupe. Durant le transport, le groupe de travail se déplace latéralement par rapport au châssis du WF, le câble complètement relâché permet d'accepter la mobilité nécessaire du groupe de travail. La non observation de cette exigence aura pour conséquence le déraillement du groupe de travail ».

3.5.5- Vérifications avant départ du train de travaux

Le train de travaux comprend, outre les engins moteurs de traction, deux parties distinctes pour la partie « matériel remorqué » (cf paragraphe 3.4) : une partie est constituée de wagons de type « commercial » ou dérivé étroitement, et une autre partie constituée par du matériel spécialisé, dans le cas présent, le « train de renouvellement P21/95 ».

Contrôles avant expédition

L'article 4.2 du référentiel « IN 1418 » précise que l'acceptation au transport d'une

« marchandise roulante », telle que le train de renouvellement, est subordonnée à la délivrance d'une « autorisation de circulation », après examen technique de son état et de son aptitude au transport, consigné par procès verbal. Dans le cas d'un matériel agréé préalablement, comme c'est le cas pour ce train de renouvellement, l'acceptation au transport n'est soumise qu'à un examen technique simplifié (ETS), assuré par un agent qualifié de la SNCF, sur la base de la mise en véhicule du train P21/95 exécutée par le propriétaire-exploitant, l'opération étant de sa responsabilité, selon l'article 4.3 du référentiel « CG TR2E2 n°4 – IN 1875 ¹ ». Aucun document de traçabilité n'est exigé par rapport à cette opération de mise en véhicule d'un engin spécialisé.

Acteurs concernés

Les acteurs impliqués sont principalement : l'agent ETF chargé de la vérification du P21/95, le reconnaisseur* SNCF, le chef de la manoeuvre (SNCF), l'agent formation* (SNCF), le pilote (SNCF) et l'agent circulation (SNCF) au poste d'aiguillage PRS de Culoz. Les rôles et relations entre ces acteurs peuvent être schématisés de la façon suivante :

- l'agent circulation trace l'itinéraire et ouvre la voie pour le train de travaux lorsque toutes les conditions de tracé d'itinéraire et d'horaires sont remplies ;
- le chef de la manoeuvre fait constituer le train de travaux dans sa composition définitive à partir des éléments partiels du train ;
- l'agent formation remet le bulletin de composition du train au conducteur, et lui donne l'autorisation de départ ;
- l'agent ETF de vérification autorise la remise du P21/95 à la SNCF auprès du chef de la manoeuvre (accord verbal) ;
- le reconnaisseur (agent effectuant la reconnaissance d'aptitude au transport « RAT ») examine l'ensemble du train selon le référentiel TR2 E2 n°4 spécifié dans le référentiel de base IN 1418 ou le référentiel fret FR 0033 plus récent ; il réalise l'essai de fonctionnement du frein pour l'ensemble du train de travaux. Il rend compte à l'agent formation.

Les relations entre ces agents peuvent se symboliser de la façon suivante :

agent ETF de vérification du P21/95 — (accord verbal) → chef de la manoeuvre — (accord verbal) → agent formation.

reconnaisseur — (accord verbal) → agent formation.

agent formation — (rédaction et remise du bulletin de composition du train) → conducteur (pilote SNCF).

¹ Article 4.3 de la CG.TR2E2 n°4 : l'expéditeur d'une marchandise roulante doit se conformer à toutes les dispositions législatives et réglementaires en vigueur de manière à garantir l'aptitude au transport en toute sécurité, et notamment en ce qui concerne :

- le bon état d'entretien du matériel.

- ...

- l'immobilisation de toutes les parties mobiles (tournantes, coulissantes ou articulées) rendant impossible tout déplacement inopiné, conformément aux prescriptions de chargement.

-...etc....

* Terme figurant dans le glossaire

Vérifications à effectuer :

➤ vérifications relatives au matériel spécialisé

L'engin spécialisé P21/95 doit être mis véhicule, ce qui nécessite des opérations particulières de mise en ordre de route. Ces opérations de mise en ordre de route sont de la responsabilité du propriétaire-exploitant, selon l'article 4-3 du référentiel « CG TR2E2 n°4 - IN 1875 ». Cet article 4-3 stipule que l'expéditeur (l'entreprise de travaux ferroviaires exploitant l'engin P21/95) doit garantir l'aptitude au transport en toute sécurité, notamment en ce qui concerne l'immobilisation de toutes les parties mobiles (tournantes, coulissantes ou articulées) rendant impossible tout déplacement inopiné.

En outre, le référentiel IN 1418 prescrit des « examens journaliers » qui concernent les semelles de frein, les suspensions et le verrouillage des organes mobiles suspendus (examen visuel, présence et état de fonctionnement des verrouillages et des dispositifs complémentaires).

➤ vérifications relatives au matériel banal (par le reconnaisseur)

Il s'agit de wagons extraits du parc commercial ou de technologie semblable. Le référentiel en vigueur prescrit d'effectuer une « reconnaissance d'aptitude au transport ». Les principes de cette reconnaissance sont définis selon le référentiel FR 0033 et visent à :

S'assurer, dans toute la mesure du possible, de l'observation des directives de chargement en ce qui concerne la répartition du chargement, l'inscription dans le gabarit, le calage, l'amarrage, le bâchage ainsi que le respect des limites de charge offertes par le matériel sur les itinéraires à emprunter.

S'assurer de l'absence d'anomalies relatives à l'infrastructure et à la superstructure du wagon et de l'aptitude de ce dernier à circuler sur les voies ferrées de l'itinéraire projeté.

Il n'est pas établi de PV, sauf en cas d'anomalie.

➤ vérification de l'ensemble du train de travaux

L'agent SNCF désigné (reconnaisseur) effectue la reconnaissance des wagons attelés en tête et queue de la rame spécialisée P21/95 selon les prescriptions du manuel du reconnaisseur. Il s'assure du bon raccordement entre wagons et rame spécialisée, s'assure pour l'ensemble du train que le principe général de chargement est respecté, participe à la réalisation de l'essai de frein avant départ et rend compte à l'agent formation, qui remet le bulletin de composition au conducteur du train (dans le cas présent, au pilote SNCF à bord de l'engin moteur de tête).

3.6- Formation, conditionnement et engagement du train de travaux vers sa zone d'intervention

Après chaque séquence de travail, le train de travaux retourne vers sa « base travaux », qui est un lieu de stationnement et de remise en état technique. Pour le présent chantier de renouvellement de voie Moirans-Grenoble, le site du triage de Culoz est utilisé pour ces deux fonctions « stationnement » et « maintenance ».

Les wagons « classiques » de ce train (transport de traverse et transport de ballast) sont déchargés du vieux ballast et des vieilles traverses et remplacés par des wagons chargés de traverses et ballast neufs. Le train de renouvellement P21/95 est remis sur la voie 52 du triage de Culoz où on effectue sa maintenance quotidienne.

Le réengagement du train de travaux nécessite de raccorder le train P21/95 avec les wagons de matériaux, en tête et en queue, l'ensemble étant tiré par trois locomotives et poussé par trois

autres locomotives. L'opération de raccordement s'effectue le jour du 24 juillet 2006 sur la voie 28 du triage de Culoz (voir annexe 4). Sur cette voie s'effectue la reconnaissance d'aptitude au transport de l'ensemble du train et les essais de frein.

Lorsque l'autorisation de départ est donnée, le train de travaux quitte le faisceau de triage et emprunte la voie D de la gare voyageurs qui se prolonge par la voie 1 en direction du Rhône et d'Aix-les-Bains (annexe 4).

4- Compte-rendu des investigations

4.1- Résumé des témoignages

4.1.1- Les conducteurs du train de travaux

Dans la locomotive menante de tête se trouvent le conducteur ETF assisté d'un pilote SNCF. Un autre conducteur ETF se trouve dans la dernière locomotive de queue. Les deux conducteurs ETF sont équipés d'un poste radio portatif pour communiquer entre eux. Les conducteurs du train se rendent compte de l'accident lorsque le train freine de lui-même du fait de la rupture de la conduite d'air de freinage sous l'effet de la désintégration des véhicules contre les montants du pont.

Le conducteur ETF de la locomotive de queue a circulé sur la déformation de voie (dérillage de voie provoqué par l'essieu déraillé) située au pk 101,920 entre les aiguilles 311 et 310 (annexe 21).

Auditionné lors d'une séance d'expertise, le conducteur de queue a déclaré n'avoir rien ressenti et ne pas faire de différence par rapport à la circulation sur les voies d'un triage. Tout au plus a-t-il aperçu un peu de poussière vers le milieu du train, correspondant selon lui, comme à son habitude, à un dépoussiérage des traverses et à celle produite par le ballast neuf transporté dans le MCK2, et était loin de s'imaginer que cela correspondait au ballast labouré par le groupe de travail déraillé. Ce conducteur n'a pas senti de différence de confort lors de cette secousse par rapport à la circulation sur les voies de service du triage. En outre, ce conducteur dont c'était le premier voyage sur ce chantier, n'avait pas à identifier le parcours puisqu'il n'est pas tenu à une connaissance de ligne.

4.1.2- Un opérateur du chantier voisin (construction du nouveau pont ferroviaire)

Cet opérateur a son attention attirée par des bruits de frottement et la présence de « fumée » au niveau de la partie basse des « engins mécaniques » (véhicules techniques) et a vu quelques chose traîner dessous. La partie du convoi considérée se trouvait à ce moment-là à environ une centaine de mètres de l'entrée du pont ; puis les engins sont entrés en collision avec la superstructure du pont.

4.1.3- L'agent circulation du PRS de Culoz

Cet agent a en charge la circulation des trains dans sa zone d'action. Il n'a rien remarqué d'anormal au départ du train de travaux 818 729. Le train 17 580 en provenance d'Aix-les-Bains arrive par la voie 2 qui se prolonge en gare par la voie E. Les deux trains se croisent en gare. Puis le TTX circule sur les zones Z 307, Z 309, Z 319, Z 321. Il se produit ensuite un déconrôle des aiguilles 310b, 312a et 312b, c'est-à-dire une indication de position anormale apparaissant sur le TCO*.

L'agent circulation reçoit alors un appel téléphonique de l'agent du Service électrique qui l'informe que le TTX « arrache des installations » et qu'il faut l'arrêter. L'agent circulation lance les procédures d'urgence (fermeture des voies, alerte aux postes encadrants, demande de coupure du courant de traction). La coupure du courant de traction ne peut pas constituer un signal de détresse pour le conducteur du train dans un tel cas car les locomotives sont à moteur thermique.

Il ne peut joindre par radio le conducteur du train de travaux, l'équipement en radio sol-train n'étant pas obligatoire pour les trains de travaux dès lors que deux agents se trouvent à bord de l'engin moteur de tête.

* Terme figurant dans le glossaire

4.1.4- L'agent « dirigeant de la manoeuvre – base arrière »

Au moment de sa prise de service, vers 14h10, ce dirigeant de la manoeuvre prend en compte la situation suivante :

- voie 28 du faisceau de triage stationne la rame de matériaux : wagons de traverses côté Ambérieu, wagons de ballast côté Culoz.
- Voie 52 : le train de renouvellement P21/95.

La première manoeuvre réalisée à ce moment-là a consisté à tirer la partie de rame « matériaux » constituée des wagons de ballast vers une des voies « Equipement » pour arroser le ballast et laisser la place pour le raccordement du P21/95.

Après avoir reçu l'**accord verbal** de l'entreprise de travaux exploitant la rame P21/95, le dirigeant de manoeuvre fait tirer cette rame spécialisée de la voie 52 jusqu'à la voie 26 (mouvement orienté Culoz vers Ambérieu). Les engins diesel de traction ont ensuite été changés d'extrémité (extrémité Ambérieu puis extrémité Culoz) pour se raccorder sur le P21/95 côté Culoz. Par un mouvement de tiroir, cette rame est finalement refoulée sur la voie 28 et raccordée au coupon de wagons de traverses.

Les engins de traction côté Culoz dégagent à nouveau la tête de voie 28 pour laisser réinsérer le coupon de wagons de ballast, puis viennent se raccorder en tête des wagons de ballast.

Trois engins de traction de l'entreprise de travaux se raccordent ensuite en queue du train, côté Ambérieu, sur les wagons de traverses.

Lorsque le train de travaux a été complètement raccordé, le dirigeant de manoeuvre a fait procéder à la reconnaissance d'aptitude au transport (RAT) et à l'essai complet du frein. Une fois l'essai de frein terminé et correct, cet agent a proposé au chef de service mouvement le train au départ de la voie 28.

Selon ce dirigeant de manoeuvre, le train de travaux est sorti du triage vers 18h22 et il n'a remarqué aucune anomalie à ce moment là.

4.1.5- L'agent ayant effectué la reconnaissance d'aptitude au transport sur le train (RAT)

Cet agent a réalisé la reconnaissance du train entre 17h et 18h. Il a en outre réalisé l'essai de frein du train. Cet agent a détecté un wagon (transport de traverses) isolé en frein, dans la deuxième moitié du train. Ce wagon n'a pas été réformé, selon le reconnaisseur, car la masse freinée du TTX était encore suffisante selon le barème réglementaire.

4.1.6- Audition du contrôleur technique de l'Agence Technique Agrément (SNCF) et du responsable de la « division engins spéciaux » (SNCF).

Le contrôleur technique de l'Agence Technique Agrément (ATA), entité appartenant à la « Division des engins spéciaux » SNCF pour travaux de voies ferrées, a effectué en août 2004 à Gevrey, les contrôles périodiques prévus au référentiel IN 1418 (réagrément tous les deux ans et demi). Ce contrôleur technique a constaté que les ressorts de suspension de l'essieu G ainsi que ceux des bogies B et D présentaient des meurtrissures de spires en contact entre elles. Jugeant que cette situation était anormale, il a mentionné cet état de fait dans son rapport et indiqué qu'il fallait « procéder au remplacement des ressorts ».

Dans son esprit « procéder au remplacement » signifiait « caractériser l'anomalie de suspension et redéfinir par le calcul les ressorts adaptés à l'engin ». En attendant, la vitesse de circulation de l'engin en véhicule était limitée à 60 km/h.

En septembre 2004, le contrôleur technique ATA rencontrait sur le site de Gevrey le constructeur qui proposait un autre type de ressorts, plus rigides. Des mesures ont été réalisées par le constructeur, dont des tests de mesure de gauche, dont la valeur démonstrative n'a pas persuadé le contrôleur technique ATA ; ce contrôleur technique a estimé ne pas pouvoir prendre à son niveau la décision d'accepter ces nouveaux ressorts plus rigides. L'essieu G était de nouveau équipé de ressorts neufs, mais du type identique à ceux d'origine. En octobre 2004, l'engin P21/95 était autorisé à circuler à 80 km/h provisoirement. L'engin P21/95 est engagé en ce même mois sur un nouveau chantier en Bretagne. La vitesse d'acheminement est remontée à 100 km/h en attendant le résultat des notes de calcul du Centre d'Ingénierie du Matériel (CIM) relatives aux caractéristiques dynamiques à attendre de l'essieu G et du bogie D (wagon WF) munis des ressorts plus raides.

Le contrôleur technique ATA effectue un nouveau contrôle de l'engin P21/95 en janvier 2005 à Lorient : selon ses mesures, les intervalles entre spires se sont réduits de 4 mm à 2 mm (4 mm est la cote prévue à la mise en service de l'engin en 1999) et les traces de talonnage entre spires sont à nouveau apparentes. Il est alors décidé de remplacer une deuxième fois les ressorts de suspension de l'essieu G par des ressorts identiques à ceux d'origine (l'exploitant de l'engin P21/95 avait commandé auprès du constructeur deux jeux de ressorts de suspension pour l'essieu G).

Dès le premier aller-retour de l'engin ; le contrôleur technique ATA constate un contact entre spires pour le seul côté droit (côté 33) : le contrôleur technique suspecte que la masse du groupe de travail est éventuellement mal répartie par rapport à l'axe de la voie et pèse plus lourd sur la roue 33 (dissymétrie de charge). Le contrôleur technique ATA transmet son rapport à sa hiérarchie, qui saisit l'exploitant de l'engin et le constructeur.

Concernant le talonnement des ressorts du bogie B, une hypothèse de correction pourrait être émise, en admettant que la flexibilité des ressorts d'origine est correcte : une réduction de la probabilité de contact entre spires nécessite d'augmenter le pas hélicoïdal des ressorts, et corrélativement, d'augmenter le jeu aux lisoirs de ce bogie.

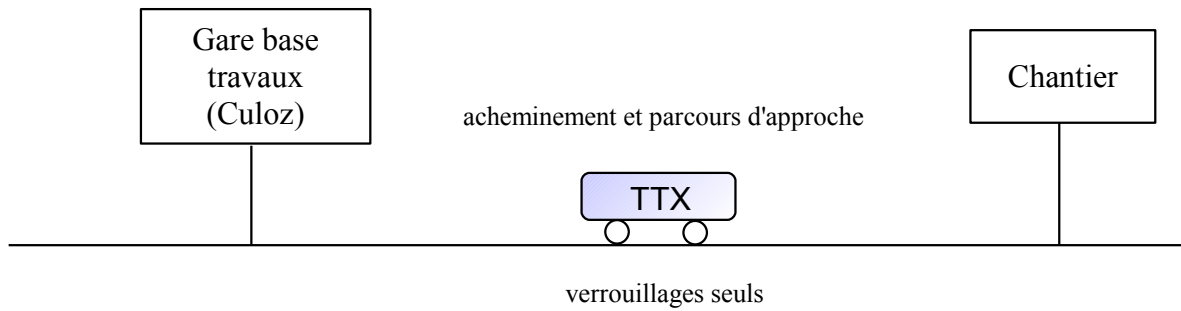
4.2- Mesures prises concernant la suspension du groupe de travail à la suite des observations du contrôleur technique de l'ATA

A l'issue de l'étude du CIM (SNCF), l'engin reçoit sur le site du Mans (10 mars 2005) un nouveau jeu de ressorts, ceux de plus grande raideur proposés par le constructeur. Ces nouveaux ressorts présentent les mêmes caractéristiques de flexibilité que la plupart des ressorts équipant le bogie Y 25, homologué au plan européen et faisant circuler de nombreux wagons en Europe.

Ni l'éventuelle dissymétrie de répartition de masses du groupe de travail que pouvait pressentir le contrôleur technique ATA, ni les caractéristiques du bogie B (espace interspire des ressorts, jeu aux lisoirs), ni l'impact d'une raideur accrue de l'ensemble (groupe de travail et la suspension de l'essieu G associée), n'ont entraîné de réserves ou contre-indications à la circulation en véhicule de l'engin. Bien qu'il ait été convenu qu'un pesage roue par roue devait être réalisé par le propriétaire du train, ce pesage n'eut pas lieu (il n'a pas été possible de disposer d'une voie de référence suffisamment longue); de même il ne fut pas réalisé de test d'aptitude au franchissement des gauches de voie sur voie d'essai spéciale.

4.3- Mise en ordre de marche de l'engin P.21/95 le 24 juillet 2006

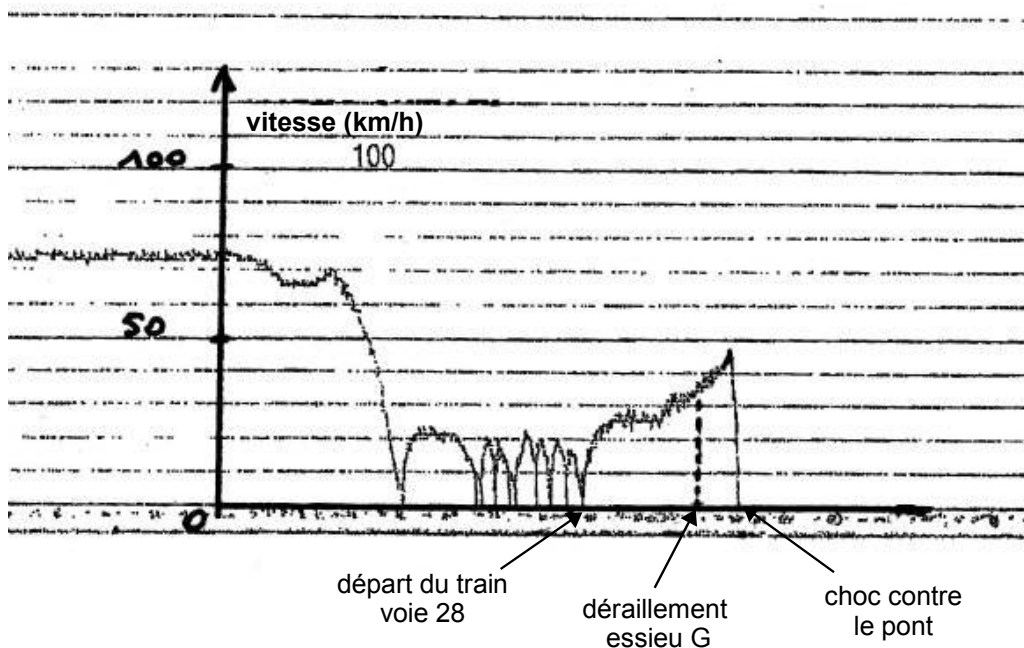
Le paragraphe 3.5.5 (vérifications avant départ du train de travaux) expose certaines opérations réalisées à ce moment-là, notamment les mesures à prendre pour la mise en ordre de marche. Le programme d'organisation du chantier de renouvellement de voies Moirans-Grenoble a considéré la gare de Culoz comme la « gare base travaux », ce qui ne nécessitait pas au sens du référentiel la mise en oeuvre des sécurités de verrouillage, et donc pas d'obligation d'insérer de goupille de sécurité en bout d'axe de broche de verrouillage.



Ce choix du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué était motivé par les conditions de gabarit restreint lors de l'engagement effectif du train de renouvellement sur sa zone de travail et les contraintes horaires.

4.4- Analyse des enregistrements : vitesse de circulation du train

Jusqu'à la sortie des aiguilles du faisceau de triage, la vitesse est limitée à 30 km/h, puis à partir des voies de la gare voyageurs, la vitesse autorisée est de 80 km/h. La bande graphique ci-dessous montre que la vitesse du train atteinte au moment du choc était de 49 km/h.



4.5- Expertise de la voie

4.5.1- Etat de la voie sur le trajet du train

Partant de la voie 28 du faisceau pair du triage de Culoz pour rejoindre la voie D de la gare voyageurs (cette voie D étant dénommée voie 1 pour les circulations directes traversant Culoz vers Aix-les-Bains), le train a franchi (cf schéma du paragraphe 5.4) les appareils de voie suivants :

- trois aiguilles (de tangente 0,13¹) symétriques, prises en talon.
- une traversée jonction double TJD* (de tangente 0,11).
- un branchement court pris en talon (tangente 0,11).
- une traversée jonction simple TJS* (de tangente 0,11).
- une TJD (de tangente 0,11).
- une TJS située sur voie E en gare (correspondant à la voie 2).
- une TJS (de tangente 0,11) donnant accès à la voie D (voie 1 en gare voyageurs).

Aucun autre appareil de voie n'existe entre cette dernière TJS et le point où la montée d'une roue sur le rail (file extérieure gauche) est constatée, au pk 101,740.

L'examen visuel de la voie, effectué à pied, sur l'ensemble du parcours où ont circulé les éléments du train (faisceau Equipement, grill voie 52, voie 26, voie 28, traversées jusqu'à la voie D), ne fait apparaître aucune anomalie. Une ébréchure dans le coeur de la dernière aiguille est relevée lors d'un examen effectué le 09 août 2006 ; toutefois cette ébréchure semble s'être produite très récemment, peut-être la veille, en tout cas postérieurement au 24 juillet 2006.

En ce qui concerne l'armement de la voie dans la zone de gare voie D (ou voie 1), celle-ci est équipée de longs rails soudés de type UIC 60 de 60 kg au mètre linéaire sur traverses béton monoblocs et attaches nabla. Le travelage est de 1 666 traverses au kilomètre. La voie est sur ballast, les appareils de voie sont posés sur traverses bois.

En zone de gare, la voie D comprend une courbe à gauche de 794 mètres de rayon, puis une courbe à droite de rayon 350 m puis 418 m.

Entre les pk 101,684 et 102,202, la voie a été renouvelée en 2000, ce qui est récent. Les matériaux sont en bon état.

Etat du rail

Dans les zones de courbe de l'itinéraire emprunté par le train, l'examen du rail n'a pas fait apparaître de chanfreinage, ni de limaille témoignant d'une usure particulière sous l'effet des circulations. Dans l'ensemble, l'état de graissage des rails en courbe est correct.

Géométrie de la voie

Les mesures de dévers et d'écartement n'ont pas montré de situation anormale. Pour l'ensemble des paramètres de géométrie de la voie, les derniers enregistrements Mauzin (19 octobre 2005 et 22 mars 2006) n'ont pas montré de situation nécessitant une intervention de maintenance.

Au point du déraillement, le rayon de la courbe est de 350 mètres et le dévers de 62 mm (dévers prescrit à cet endroit de 59 mm), la vitesse autorisée étant de 80 km/h. Une intervention sur la voie aurait été nécessaire si le dévers réel mesuré avait dépassé de plus de 10 mm le dévers prescrit (9 mm constituant le seuil d'alerte). En ce qui concerne la valeur des écarts de dévers, la valeur maximum mesurée sur l'enregistrement est de 7,5 mm au pk 101,534, tandis que la valeur au point de déraillement est de 3,2 mm, une intervention étant nécessaire lorsque l'écart de dévers dépasse 9 mm (valeur d'alerte). Quant à la valeur du gauche (sur 3 m) de la voie, la valeur maximum mesurée 5 mètres en amont du point de déraillement est de 9 mm pour une valeur d'alerte 12 mm.

La géométrie de la voie et l'état de ses constituants se révèlent être de bonne qualité et ne présentent aucun indice pouvant apparaître comme une quelconque cause de l'accident.

¹ Caractérise l'angle entre les voies raccordées.

* Terme figurant dans le glossaire

Traces relevées (cf schéma du paragraphe 5.4)

Au pk 101,740 de la voie 1 en gare de Culoz, une trace de montée d'un boudin de roue est observée sur le rail extérieur, file gauche dans le sens normal de circulation. A cet endroit, le rayon de la courbe est de 350 mètres, la vitesse autorisée est de 80 km/h et le dévers de 62 mm (dévers prescrit à cet endroit de 59 mm).

Cette trace de roulement du sommet du boudin se poursuit sur une distance de 6,65 mètres ; une trace de chute de la roue au pk 101,747 est observée sur la face extérieure du champignon du rail (annexe 5). A cette abscisse, une trace est relevée sur la traverse béton en partie droite avec un écrasement de l'attache, correspondant à la roue droite de l'essieu ayant déraillé. Une trace de frottement est observée aussi sur le congé extérieur du rail file droite, au droit de cette même traverse, provoquée par une pièce métallique autre que la roue. Le roulement sur le patin extérieur du rail file gauche se poursuit sur plusieurs espacements de traverses. Il provoque, en heurtant violemment le bourrelet d'une soudure aluminothermique, la rupture du rail vers le pk 101,789. De multiples traces sont ensuite observées dans l'appareil de voie n°305 pris en talon. L'aiguille 305 correspond au raccord de la voie C et de la voie de la sous-station à la voie D. Ces traces témoignent de l'action d'une masse métallique autre qu'un essieu, compte tenu de leur espacement en largeur au niveau du coeur de l'aiguille.

Le passage de l'aiguille 305 est le lieu où l'essieu déraillé roulant à gauche (et les pièces accompagnant) saute au dessus de la voie et se repose, déraillé, à droite de la voie dans le sens de la marche. Au niveau du passage à niveau n°1 (PN1), les traces relevées sur le platelage du PN ne correspondent en rien à des traces liées au passage des roues : la distance transversale de ces traces est d'environ 2,670 mètres. Ces traces correspondent au frottement sur la voie d'un appareillage proche du gabarit bas, dont l'altitude est devenue anormalement basse.

Après le passage sur le PN1, l'essieu G continue sa marche « déraillé » à droite de la voie jusqu'à la rencontre de l'aiguille 310 (une des aiguilles de communication de l'IPCS voie 1/voie 2). A ce niveau là, l'essieu saute à nouveau au dessus de la voie et repasse à gauche de la voie dans le sens de la marche. Le schéma de l'annexe 7 décrit le cheminement de cet essieu. A cet endroit-là, la pédale électromécanique DA 314-316¹ est heurtée par une pièce traînante du train désemparé qui expulse légèrement le couvercle et tord légèrement les deux tiges de déclenchement.

Après le passage du PN1, l'engin a rencontré le raccordement de l'aiguille 311 (raccordement de la voie venant de Genève) ; entre les aiguilles 311 et 310, le groupe de travail se coince dans les contre-rails et provoque une déformation accentuée en dressage de la voie (annexe 21). Les entretoises de l'aiguille 310 sont marquées par le boudin de la roue 34 de l'essieu G (photo annexe 8).

Le train de travaux, poursuivant sa progression, l'essieu déraillé circulant à gauche de la voie, rencontre cette fois-ci le dernier appareil de voie avant le pont sur le Rhône : l'aiguille 312 (autre aiguille de communication de l'IPCS) : guidé par les contre-rail, l'essieu saute une nouvelle fois au-dessus de la voie et repasse à droite de la voie (annexe 7).

Conclusion : les traces observées ci-dessus ne concernent qu'un essieu isolé ; s'il s'était agi d'un essieu de bogie, les traces de l'autre essieu auraient été repérées, ce qui n'est pas le cas ici ; le seul essieu isolé de ce train de travaux étant l'essieu de délestage (baptisé aussi « essieu G »), on peut conclure que les traces de déraillement observées concernent cet essieu G.

L'essieu G fait partie des organes de roulement actifs lors des marches en acheminement du train (engin P21/95 mis en véhicule), le « groupe de travail » étant supporté principalement par cet essieu.

¹ Cette pédale a pour fonction de détruire l'itinéraire tracé après le passage des trains qui ont franchi soit le carré 314, soit le carré 316 (carrés se situant sur voie 1 et voie 2 pour les trains en provenance d'Aix-les-Bains et se dirigeant vers Culoz) ; cette pédale n'est active que pour ce sens. Le sigle « DA » signifie « destruction automatique ».

4.5.2- Pièces tombées sur la voie

Quelques mètres après le point constaté du déraillement de l'essieu G, un ensemble de pièces tombées au sol a été observé, ces pièces provenant du « groupe de travail ».

La première pièce relevée est une goupille « bêta » (3 mm de diamètre), suivie d'un anneau d'amortisseur « Lenoir »¹, puis une tôle gaufrée, une broche de verrouillage, une cale sous ressort hélicoïdal,.....

<i>n° de pièce</i>	<i>désignation</i>	<i>pk</i>	<i>emplacement</i>
0	goupille bêta	101,772	entrevoie V1-V2
1	anneau de suspension	101,773	entrevoie V1-V2
2	tôle gaufrée	101,779	entrevoie V1-V2
3	broche de verrouillage	101,787	entrevoie V1-V2
4	cale sous ressort hélicoïdal	101,789	entraxe voie 2
etc.....(liste complète en annexe 9)			

La photo des quatre premières pièces tombées au sol figure en annexes 10 et 11.

On pourrait penser que la goupille bêta, première pièce retrouvée au sol fait partie du système de « sécurité de verrouillage » de la broche de verrouillage correspondante (annexe 20). Il n'en est rien dans le cas présent car les broches (verrouillage essieu G) de ce train n'en comportaient pas (alors que le train destiné aux chemins de fer chinois que l'enquêteur a pu examiner chez le constructeur en est muni). La goupille retrouvée au sol provient du marche-pieds situé au dessus d'un bloc de distributeurs dont la tôle gaufrée est aussi tombée.

Parmi les pièces tombées, celles du type : anneaux de suspension, rondelles de calage, ressorts de boîte d'essieu,...proviennent du désassemblage de la suspension de l'essieu G ; à partir du moment où cet essieu a déraillé et roulé sur les têtes de traverses et les tire-fonds, celui-ci a été violemment secoué verticalement, au point que les premières spires des ressorts de suspension de cet essieu G sont fortement comprimées et laissent apparaître des marques d'un intense talonnage, majoritairement visible pour les ressorts 33 (côté droit, photo annexe 6). Pendant la première compression des ressorts de suspension, les anneaux de suspension (qui actionnent l'amortisseur à friction Lenoir) échappent des tétons de retenue. Dès lors, tout l'assemblage de la suspension se disloque en se répandant sur la voie.

Broche de verrouillage : comme il a été noté au paragraphe 3.5.4, les deux broches de verrouillage (gauche 34) et (droite 33) rendent solidaires en alignement les deux demi-bras articulés de sustentation du groupe de travail via l'essieu G. Peu après l'accident, l'Etablissement « Equipement » de la SNCF a réalisé un rapport photographique de l'état de la voie et des pièces tombées et éparpillées, le jour de l'accident, vers 20 heures. Une broche a été retrouvée au sol, sa chaînette de retenue étant précédemment rompue et n'ayant pu empêcher cette broche de tomber au sol. Cette broche est tombée dans l'entrevoie des voies 1 et 2 en courbe à droite, il s'agissait donc logiquement de la broche droite 33.

Alors qu'au moment du reportage photographique cette broche avait été observée par quatre

¹ L'amortisseur « Lenoir » est un système mécanique à friction destiné à amortir les suspensions à ressorts hélicoïdaux des wagons.

personnes, une observation des lieux réalisée le soir même de l'accident vers 22h30 ne permettait plus de voir cette broche au sol : celle-ci venait de disparaître. Le constat d'huissier réalisé le lendemain 25 juillet 2006 n'a pas pu prendre en compte cette pièce du fait de sa disparition ; ce n'est que le surlendemain, le mercredi 26 juillet 2007 après-midi, que cette pièce a été retrouvée par l'entreprise de travaux exploitant le P21/95 le long du grillage de clôture de la voie ferrée, à proximité du lieu initial de chute. L'entreprise de travaux ferrés, qui avait été informée du reportage photographique comportant la vue de cette broche, a avisé la SNCF de cette découverte.

Par la suite, les différents constats relatifs aux pièces tombées sur la voie, à l'état de la voie depuis le parcours origine du train jusqu'au pont du Rhône, à l'état du train de travaux ont été réalisés de façon contradictoire.

4.5.3- Pièces tombées dans le Rhône

Après le choc contre le tablier du pont de la voie 1, quelques pièces et des éléments de chargement tombent dans le fleuve ; il est ainsi repêché l'essieu G (annexe 17) tordu avec une roue décalée et une broche de verrouillage, la broche gauche correspondant à la roue 34.

4.5.4- Interprétation des traces relevées sur la voie par l'essieu G

Les constats relatifs à l'état de la voie, décrits au paragraphe 4.5.1, font apparaître une progression alternée de l'essieu G (et du groupe de travail qu'il a vocation à supporter) par rapport à la voie, en fonction des appareils de voie rencontrés. Dans certaines configurations de déraillement de véhicules ferroviaires, il a pu se produire que l'essieu déraillé du véhicule soit réentraîné lors de la rencontre de cet essieu contre le rail de traversée de l'aiguille venant faire obstacle à cette progression (ici, en l'occurrence, l'aiguille 305). Dans le cas présent, non seulement l'aiguille 305 fait soulever l'essieu G et le groupe de travail pour le recentrer dans la voie 1, mais ce mouvement ne permet pas à l'essieu G de « retomber sur la voie 1 » : il pivote vers la droite au dessus de la file droite de la voie 1 pour retomber, déraillé, à droite de cette voie 1.

Ce mouvement alterné de l'essieu par rapport à la voie peut s'expliquer quelle que soit la masse sur rail supportée par cet essieu. En effet, lorsque l'essieu G aborde la jonction de l'aiguille 305, c'est la roue 34 qui est prise en « tenaille » dans le coeur de l'aiguille ; le mouvement du train se poursuivant, la roue 34 doit s'échapper par le haut en étant poussée vers la droite dans le sens du rail rencontré, ce qui provoque le saut de l'essieu G à droite de la voie. Le passage de l'essieu G sur l'aiguille 311 n'occasionne pas de roue « prisonnière », l'essieu reste donc côté droit de la voie. En abordant l'aiguille 310, c'est la roue droite 33 qui se trouve « prisonnière » du coeur d'aiguille, d'où poussée verticale de l'essieu et report vers la gauche dans le sens de l'aiguille : l'essieu G est soulevé et projeté cette fois vers la gauche de la voie. Le même raisonnement s'applique une nouvelle fois à la roue 33 lorsqu'elle devient prisonnière du coeur d'aiguille 312, d'où la projection de l'essieu G à droite de la voie 1, qui va ainsi circuler en engageant le gabarit jusqu'au pont du Rhône.

4.6- Interprétation de la dégradation de certaines pièces de l'engin P21/95

4.6.1- Les ressorts de suspension de l'essieu G

Comme indiqué précédemment, les groupes de ressorts 33 et 34 de l'essieu G ont été talonnés pendant la marche de l'essieu G sur les traverses immédiatement après le déraillement. Cette compression des spires entraînant le talonnage a provoqué l'échappement des anneaux de suspension, et à partir de ce moment, le désassemblage complet de la suspension.

Les ressorts de suspension de l'essieu G étant plus rigides que ceux d'origine, on peut estimer

que les traces de talonnage sont liées au déraillement et non aux circulations antérieures. Le talonnage des ressorts 33 (photo de l'annexe 6, côté droit dans le sens de la marche du train) témoigne qu'à ce moment-là, la broche 33 était encore en place et assurait la rigidité du bras 33 du Groupe de Travail. Lorsque la broche 33 a été éjectée de ses logements et n'assurait plus la liaison des deux demi-bras, le bras 33 est devenu inopérant si bien que la roue 33 ne pesait plus que de son propre poids, d'autant que la suspension se désassemblait. Ces constats permettent d'affirmer que la broche 33 était en place au moment du déraillement (zone des pk 101,740 à 101,747).

4.6.2- Les lisoirs des bogies A1/A2 et B (wagon WM) et D (wagon WF).

Nous avons vu précédemment que la jonction des wagons WM et WF participe à la sustentation du groupe de travail. Le système de jonction WM/WF dispose comme suspension ferroviaire de la suspension des bogies A1, A2 et B pour le wagon WM, et de la suspension du bogie D pour le wagon WF. Un examen de l'état des lisoirs de ces bogies A1, A2 et B a été réalisé : si les blocs caoutchouc n'appellent pas de remarques spécifiques, les butées métalliques limitant la compression de ces blocs font apparaître un matage intense et une destruction de la platine d'appui ; ce matage témoigne que les chocs subis par les butées de lisoirs ne sont pas exceptionnels : une telle fréquence de contacts subis par les butées de lisoirs est anormale. Les essais initiaux de comportement dynamique, réalisés en Suisse par le constructeur sur des voies de qualité relativement médiocre, n'avait pas mis en évidence des niveaux d'accélération anormaux sur les véhicules incriminés, toutes les valeurs limites de la fiche UIC 518 étant largement respectées. Il est donc permis de penser que cette propension aux chocs et aux « à coup transversaux » s'est développée progressivement au cours de l'exploitation de l'engin.

Il en résulte que ces chocs se transmettent à la tête d'éléphant WM-WF, qui transmet à son tour les chocs (transversaux) à la suspension de l'essieu G ; les charges verticales sur le rail des roues 33 et 34 peuvent prendre des valeurs excessivement fortes ou faibles ponctuellement. L'altitude de la tête d'éléphant WM-WF développe un couple de rotation (selon l'axe de la voie) qui amplifie les efforts alternés s'exerçant sur la roue droite et la roue gauche de l'essieu G.

4.7- Analyse des conditions de déraillement de l'essieu G

Dans le présent paragraphe, nous listons neuf hypothèses liées aux différents facteurs qui auraient pu provoquer une marche anormale du groupe de travail et de son essieu G.

4.7.1- Hypothèse d'une anomalie de la voie

L'aspect visuel de la voie (photographies à l'appui pour mise en mémoire), ainsi que les mesures de géométrie qui ont été réalisées, n'ont pas mis en évidence de non conformité de la voie. Le léger écart de dévers noté dans la zone de montée de la roue sur le rail n'a pas atteint une valeur nécessitant une intervention à brève ou lointaine échéance. A noter que cette portion de voie entre les pk 101 et 102 a été remise en circulation sans intervention correctrice ni restriction dès la réouverture de la voie 2 au trafic. L'essieu G a donc déraillé sur une voie dans un état conforme aux normes.

4.7.2- Hypothèse d'une pièce étrangère entrée en contact avec l'essieu G soutenant le groupe de travail

L'ensemble des pièces retrouvées au sol a pu être identifié comme appartenant au train P21/95 ; aucune pièce étrangère n'a pu être mise en évidence.

La boîte d'essieu n°34 de l'essieu G a été retrouvée cassée et éraflée, après l'accident. Une hypothèse a néanmoins été émise quant à la possibilité pour un obstacle non identifié, gisant en dehors de la voie contre le rail extérieur, d'érafler et soulever la boîte d'essieu n°34, provoquant ainsi le déraillement.

Caractéristiques de cet hypothétique obstacle en voie :

- le gabarit supérieur de cet obstacle ne doit être, ni trop haut car les essieux d'un diamètre « normal » de 920 mm (cas des wagons commerciaux du train et peut-être des engins moteurs) ou les autres essieux de l'engin P21/95 de diamètre 840 mm auraient eux-mêmes déraillé en premier, ni trop bas pour que sa partie supérieure entre en contact avec la boîte d'essieu 34 et sa nervure de rigidité (diamètre de l'essieu G de 680 mm).
- cet obstacle non identifié n'a pas été aperçu par le conducteur ETF du train, ni par l'agent d'accompagnement SNCF, qui auraient probablement réagi en commandant l'arrêt du train.
- cet obstacle non identifié n'a pas été récupéré après l'accident, dans la recherche de pièces à conviction, ni par les agents SNCF, ni par les agents de l'entreprise de travaux. Il n'a pu être inclus dans le relevé contrôlé par l'huissier chargé d'établir les constats « terrain ».
- une analyse métallurgique des éraflures et cassures subies par la boîte d'essieu 34 peut-elle mettre en évidence un scénario cinématique faisant intervenir une force verticale orientée de bas en haut (autre que la réaction du rail) expliquant la sortie de voie de l'essieu ?

Pour cette dernière question, une analyse sur quelques éléments de la boîte d'essieu 34 a été confiée au CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) par les experts judiciaires : examen visuel des pièces et reconstitution de la boîte d'essieu, analyse morphologique des ruptures, examen au microscope des zones usées afin d'identifier le mode de dégradation.

Quatre éléments du restant de boîte d'essieu 34 ont été particulièrement discutés :

La pièce n° 14 (selon le classement des pièces répertoriées au sol), morceau de la glissière de la partie avant de la boîte d'essieu (dans le sens de la marche du train) : cette pièce a été retrouvée 76 mètres après la retombée de l'essieu hors du rail, soit au pk 101,823, situé après le croisement de l'aiguille 305 où l'essieu G a sauté du côté gauche de la voie vers le côté droit.

La pièce n° 15, oreille arrière de la boîte d'essieu 34 (l'oreille est le support des ressorts de suspension), retrouvée 164 mètres après la chute de l'essieu G, soit au pk 101,911 ; à cet endroit, l'essieu G a déjà heurté deux croisements (aiguilles 305 et 311). La rupture est qualifiée de brutale, causée vraisemblablement par ces obstacles.

La pièce n° 162, oreille avant de la boîte d'essieu 34, retrouvée 1 500 mètres après la chute de l'essieu du rail, soit au pk 103,247 ; la rupture est qualifiée de brutale sous l'effet d'un choc en partie basse, le dégât ayant été vraisemblablement provoqué par le heurt des pièces contre le tablier du pont.

Les ruptures analysées ne relèvent pas du type de ruptures de fatigue.

La pièce n° 15 (oreille arrière de la boîte d'essieu 34) est la pièce qui a pu être impactée par l'éventuel objet étranger, cause hypothétique du déraillement. L'ensemble des parties concernées par cet accident a été examiné au laboratoire du CETIM le dessous de la boîte (annexe 24), où l'on cherche à interpréter les traces comme provenant d'une pièce autre que le rail ou un appareil de voie (« traces antagonistes »).

L'analyse métallurgique a montré des traces imprimées en sens inverse du déplacement du train, ce qui correspond au mouvement relatif par rapport au train des organes fixes de l'infrastructure (aiguillages) ; on observe également des traces de choc postérieures au déraillement.

Les chocs subis par les pièces de roulement et suspension de l'essieu G peuvent faire intervenir l'ensemble des pièces de l'infrastructure (rail, contrerail, aiguilles, accessoires de voie,...) et les parties basses du groupe de travail qui se déplace en raclant le sol, « labourant » les pièces

déseparées et tombées : si des éraflures par des « pièces extérieures » étaient identifiables, cela pourrait être le fait des éléments bas du groupe de travail.

Finalement, l'expertise des éléments cassés de la boîte d'essieu ne permet pas d'accréditer la thèse d'un objet non identifié extérieur à l'infrastructure ayant soulevé l'essieu et provoqué sa chute en dehors de la voie.

4.7.3- Hypothèse d'une anomalie de l'essieu G

La photo de l'annexe 17 montre qu'une roue est décalée de son axe, l'axe étant lui-même tordu.

L'analyse des traces laissées par les boudins de roue sur les traverses ne confirment pas l'hypothèse d'un mauvais écartement des roues. La traçabilité de maintenance indique que cet essieu a subi une maintenance en mai 2006, soit deux mois avant l'accident, où il été entièrement jaugé et reprofilé. L'essieu circulait donc depuis deux mois avec une géométrie quasiment à l'état neuf.

L'opération de décalage de l'autre roue par rapport à l'axe, pratiquée au chantier essieux de l'atelier SNCF de Nevers, a montré une pression de décalage (représentative de la pression engagée au moment du calage de la roue) de 80 tonnes, valeur considérée normale. Les cotes de calages ont été mesurées, tant pour la roue 33 et la portée de calage correspondante de l'axe, que pour la roue 34. Les cotes relatives à la roue 33 correspondent aux valeurs de référence. Pour la roue 34, il a été constaté une ovalisation de l'alésage ainsi qu'une perte de cylindricité de la portée de calage : cette situation résulte très probablement de l'arrachement de la roue par rapport à l'axe de l'essieu lors du choc contre le tablier. La donnée relative à la force de calage/décalage de la roue 33 est suffisante pour avoir l'assurance que la phase de calage de cet essieu a été correcte.

En conclusion, les anomalies présentées par cet essieu sont la conséquence des chocs subis pendant l'accident.

4.7.4- Hypothèse d'une anomalie de la suspension de l'essieu G

Les pièces de suspension (ressorts hélicoïdaux, anneaux, guides, poussoirs, chapeaux,...) retrouvées au sol étaient soit intactes, soit rompues par rupture brusque due aux chocs.

Les constats réalisés lors du réagrément de l'engin P21/95 en 2004 laissent supposer une répartition dissymétrique des masses sur rail du groupe de travail, le côté « 33 » étant le plus chargé (dans le cas de la circulation du train 818 729 du 24 juin 2006, il s'agit du côté droit). Il est impossible de détecter si cette dissymétrie existait de construction ou si elle est apparue postérieurement, de façon « naturelle » ou accidentelle.

Le remplacement des ressorts de suspension de l'essieu G (ressorts charge) et des ressorts (tare et charge) de la suspension primaire du bogie D par des ressorts d'une moindre flexibilité a contribué à augmenter la rigidité torsionnelle du groupe de travail et de sa suspension, et par voie de conséquence à réduire l'aptitude de l'ensemble WM-WF à franchir correctement les gauches de voie, même si ceux-ci sont dans les normes.

Ces deux caractéristiques défavorables ont pu influencer la tenue sur rail de l'engin P21/95 dans la voie 1 en courbe de Culoz dans la zone du pk 101.

4.7.5- Hypothèse d'une anomalie concernant la traverse de liaison de l'essieu G (photo de l'annexe 18)

L'état de l'épave du P21/95 n'a pas permis d'avancer une quelconque hypothèse ; on peut imaginer qu'une traverse de liaison déformée de l'essieu G influe défavorablement sur le positionnement de l'essieu G par rapport à la voie, cette difficulté d'inscription dans la voie se serait alors manifestée dès l'existence de cette déformation et dès les premières courbes rencontrées, ce qui

n'a pas été le cas.

4.7.6- Hypothèse relative au verrouillage de la broche n°33 maintenant en position alignée le bras de liaison du groupe de travail et de l'essieu G (côté droit).

La broche de verrouillage 33 a été trouvée sur la voie une quarantaine de mètres après le point de déraillement de l'essieu G.

Cette pièce n'a pas été retenue par l'ergot de sécurité prévu à cet effet, très probablement parce qu'elle n'avait pas été correctement mise en place par le responsable ETF du train avec son arrêtoir sous l'ergot (cf 3.5.4 ci dessus).

De ce fait, on peut se demander si sa perte a pu être une cause du déraillement, ou si elle en a été une conséquence.

Si l'essieu G n'est plus relié que par un seul bras au groupe de travail, un déraillement surviendrait très probablement compte tenu de la dissymétrie et de la perte de rigidité mécanique ; le déraillement semble plus probable du côté du bras perdu (côté droit) contrairement à ce qui s'est passé dans le cas présent ; mais des effets dynamiques brutaux lors de la perte de liaison du bras rendent cette conclusion incertaine.

Au paragraphe 4.6.1 a été décrit l'état des ressorts de suspension de l'essieu G après le déraillement. Le fait que les ressorts du côté 33 (photo annexe 6), et dans une moindre mesure pour le côté 34, aient été fortement marqués entre spires témoigne que le « bras » de droite du groupe de travail assurait encore solidement en alignement ses deux demi-bras jusqu'au point de chute de la broche, 40 mètres après la chute de la roue 34 du rail. Il semble possible d'affirmer qu'avant le pk 101,787 la broche 33 était encore en place, le pk 101,787 est celui où la broche 33 est retrouvée tombée au sol, l'éjection finale de la broche s'étant certainement produite lors du choc transversal de l'essieu G contre l'aiguille 305.

Quelles que soient les hypothèses envisagées, il apparaît que le groupe de travail ne semblait pas correctement en ordre de marche et sa vérification a présenté une lacune. En outre, si la goupille bêta associée à chaque broche avait été mise en place, une situation de mauvais enfilement de la broche n'aurait pas pu se produire ; toutefois, l'homologation de la SNCF pour ce train de renouvellement n'a pas exigé la présence de cette goupille bêta.

Cependant, l'enfilement probablement incorrect de la broche ne constitue pas une cause du déraillement, puisque la sortie de cette broche apparaît comme postérieure au déraillement.

4.7.7- Hypothèse d'une configuration anormale du système de relevage du groupe de travail

Cette hypothèse avait été évoquée à la suite d'une première interprétation des traces relevées sur la voie au delà du déraillement qui semblait suggérer que l'essieu G était retenu verticalement. En effet, les premières traces du boudin de la roue 34 sur les têtes de traverses béton après la chute depuis le champignon du rail (annexe 5) ainsi que la trace du boudin de cette roue 34 sur les entretoises de l'aiguille 310 (annexe 8) sont d'un impact ténu. L'enquêteur a demandé la réalisation de deux tests pour approfondir cette hypothèse ; la réalisation d'un seul test n'a pas permis de poursuivre plus avant cette hypothèse.

La vitesse du train de travaux au moment du déraillement étant modérée (environ 35 km/h), la force centrifuge appliquée à l'essieu G est elle-même modeste ; d'autre part, le dévers (62 mm) a pour effet d'appliquer une force centripète sur l'essieu, les deux forces se compensant partiellement. De telles forces relativement faibles ne peuvent entraîner de déraillement que si l'effort vertical de la roue sur le rail est par ailleurs fortement allégé. Il faut aussi tenir compte du gauche de voie structurel présenté par le raccordement parabolique de sortie de courbe (pente de 2 mm/m), ce

gauche de voie occasionnant une réduction de la charge verticale de la roue 34 à cet endroit.

La question se pose de savoir si un déchargement supplémentaire de l'essieu G dû à une retenue verticale du groupe de travail aurait pu intervenir. Un tel allègement aurait pu résulter d'un relâchement insuffisant du câble de relevage à l'issue des opérations d'entretien préalables au départ du train.

L'altitude du groupe de travail se règle par un système de câble, poulie, tige de vérin commandant le câble (photo en annexe 19). Le constat sur place a montré une tige de vérin apparemment sortie face au capteur de position, tandis que le câble de relevage a été trouvé rompu. Il n'est pas possible en l'état actuel des expertises, au moment de la rédaction du rapport, de certifier si la tige du vérin a été suffisamment sortie, ni si le câble était suffisamment détendu, comme le prescrit le concepteur-constructeur.

Pour tester l'hypothèse d'une retenue verticale du groupe de travail, l'enquêteur a demandé à observer le comportement en voie du groupe de travail, de son positionnement respectif par rapport aux poutres WM-WF, du positionnement du câble de levage du groupe de travail pendant un déplacement du train de renouvellement en courbes et en contre-courbes. La demande initiale de l'enquêteur consistait en deux essais de circulation : l'un avec le câble détendu, l'autre avec le câble juste tendu (la table de roulement de l'essieu ayant perdu le contact avec le dessus du champignon du rail mais la face active du boudin conservant le contact permettant le guidage) et en provoquant immédiatement l'arrêt de l'engin dès que l'essieu de délestage est sur le point de quitter la voie. Ce deuxième essai, qui ne pouvait être réalisé qu'avec un matériel prêté par une autre entreprise et effectué sur le réseau suisse, n'a pas été accepté.

Le seul essai effectué a été l'essai de circulation avec câble de relevage détendu. L'opération test s'est déroulée dans le secteur du triage de Lausanne (Confédération Helvétique), où une entreprise de travaux ferroviaires avait en charge un chantier de renouvellement de traverses et de ballast, en utilisant le train de renouvellement P21/95 Matisa, entré en service en 2007. Placé dans la nacelle de l'opérateur gérant le relevage/dépose des traverses, l'enquêteur, en vision directe de face du groupe de travail et sous l'aplomb des poutres articulées WM-WF, a pu observer les déplacements latéraux relatifs du groupe de travail / poutre WM-WF lors de la circulation du train sur les voies en courbe de sortie du lieu de garage ; le plus faible rayon de courbe circulé était de 185 mètres.

Le mou du câble de relevage a permis les débattements transversaux relatifs de la poutre (WM-WF) / Groupe de travail : la photo de l'annexe 23 visualise ce débattement du groupe de travail : l'aplomb du support d'amortisseur transversal évolue du deuxième registre jusqu'au huitième registre, soit un débattement de l'ordre de 600 mm.

A défaut d'un essai permettant de vérifier concrètement l'effet d'un relâchement insuffisant du câble de relevage, l'effet d'un tel allègement de l'essieu par maintien d'une tension sur le câble peut être analysé comme suit en ce qui concerne les forces appliquées à l'essieu G et les risques de déraillement.

La géométrie du train de travaux a pour conséquence que, dans une courbe, le point de suspension du câble de relevage ne s'écarte pratiquement pas (en projection verticale) de l'axe de la voie. L'écart est au maximum de l'ordre de quelques centimètres selon le rayon de courbure, et n'induit pas d'effort horizontal sur le rail. Dans les conditions du déraillement, les efforts horizontaux normaux (force centrifuge et effet de dévers) ont une résultante faible qui ne peut expliquer le déraillement. En cas d'application d'une tension anormale par le câble de retenue, son effet ne se traduit par un risque de déraillement vers l'extérieur qu'en présence d'une composante horizontale des efforts sur le rail dirigée vers l'extérieur : ce n'était pas le cas à l'endroit du déraillement, où l'effet de dévers (vers l'intérieur) était supérieur à l'effet de la force centrifuge (vers l'extérieur).

La non réalisation du deuxième essai de test demandé par l'enquêteur (câble en début de tension) laisse planer le doute sur le comportement de l'essieu G : peut-il y avoir maintien en voie sur les courbes de voies de service de faible rayon sans dévers (guidage par le boudin) puis sortie de voie dès qu'une gauche de voie se présente (gauche du raccordement de sortie de courbe en voie principale) qui laisse échapper le boudin au dessus du rail?

L'hypothèse envisagée d'un relâchement insuffisant du câble n'a donc pu être testée complètement et ne peut pas être confirmée.

4.7.8- Hypothèse d'un blocage de la rotule de poussée horizontale du groupe de travail

Un grippage de la rotule entraînerait une difficulté du groupe de travail à aborder les courbes. C'est au départ de la voie 28 que le train a abordé les courbes les plus serrées et le déraillement se serait produit à ce moment-là. Cette hypothèse ne peut être retenue.

4.7.9- Hypothèse d'un mauvais positionnement de la roue de dépose des traverses

Un mauvais positionnement de cette roue de dépose aurait pour conséquence un contact en courbe entre une dent de la roue et le système des chenilles ; si tel était le cas, ce contact en courbe avec coincement se serait produit dès la première courbe de sortie après la voie 28, ce qui n'a pas été le cas ; cette hypothèse ne peut être retenue.

4.7.10- Interprétation du déraillement initial de l'essieu G

La roue 34 s'est levée en courbe (rayon de 350 m) d'une voie principale en gare de Culoz parcourue par plusieurs dizaines de trains (voyageurs et marchandises) par jour. Le processus de soulèvement a été progressif, le boudin de la roue a atteint le champignon du rail au pk 101,740 et a roulé sur ce champignon pendant sept mètres (chute au pk 101,747), c'est à dire suivant un angle très faible par rapport à l'axe du rail. Cette montée d'essieu sur le rail, progressive et sans caractère brutal dans la zone de raccordement de courbe avec l'alignement présente une analogie avec les déraillements observés lors des tests réalisés sur les véhicules ferroviaires en circulation d'essai sur des voies en courbe avec des gauches normalisés.

Dans le cas présent, l'assimilation du mouvement de l'essieu G au test de circulation sur la « voie des gauches » caractérise soit un excès de gauche relatif voie/châssis de véhicule, soit un excès du rapport $(Y/Q)^*$ des efforts transversaux et des efforts verticaux exercés au contact rail/roue 34.

Ce caractère progressif du phénomène laisse peu de place à l'hypothèse d'un phénomène brutal de soulèvement de la roue 34 par un objet non identifié étranger au système voie-véhicule, ni d'une perte brutale de la broche de verrouillage 33. On peut estimer qu'à l'endroit de la courbe du pk 101,700 où se situe le raccordement parabolique de sortie de courbe avec l'alignement aval, trois facteurs défavorables ont pu se conjuguer :

- une répartition inégale de la masse sur rail du groupe de travail (côté droit « 33 » plus chargé et par conséquent côté gauche « 34 » plus léger, réduisant anormalement la charge verticale de la roue 34 ;
- une rigidité torsionnelle du groupe de travail plus importante, défavorable pour aborder les gauches de voie ;
- des à-coups transversaux (cf paragraphe 4.6.2) provenant de la jonction WM-WF (butées de lisoirs matées et plaques d'appui détruites) se répercutant selon des déchargements ponctuels et erratiques droite-gauche sur la suspension de l'essieu G. Ces déchargements/chargements sont amplifiés par l'effet de levier provoqué par l'altitude de

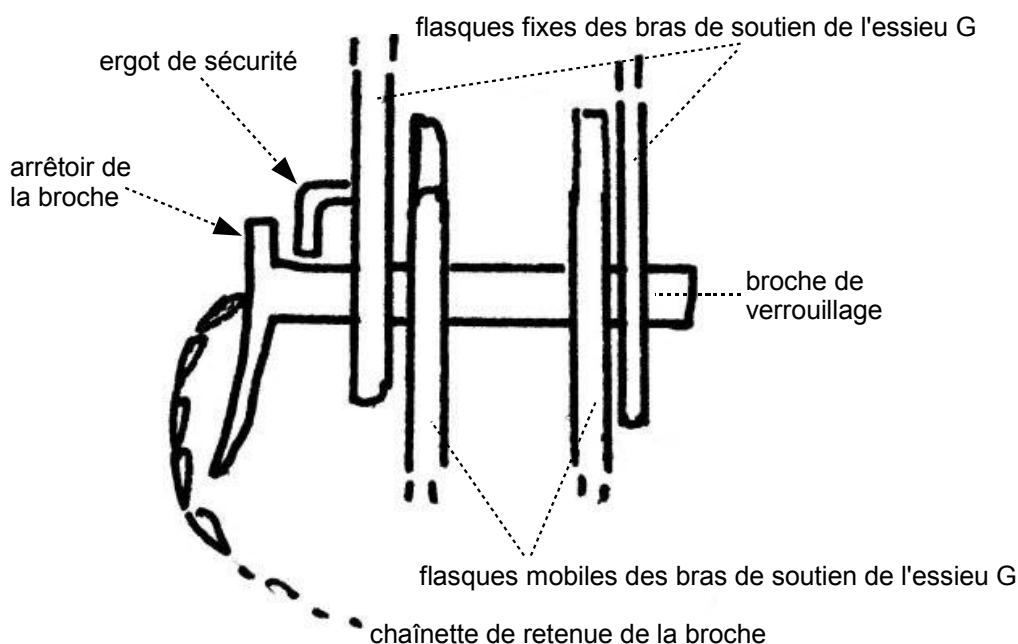
* Termes figurant dans le glossaire

la trompe WM-WF.

Ces trois facteurs ont pu se conjuguer au moment du passage de l'essieu dans le raccordement parabolique de sortie de courbe du pk 101,740 : ils ont engendré un déchargement excessif de la roue 34 (extérieure) en regard de l'effort transversal exercé sur le rail externe par cette même roue en courbe et en vitesse croissante.

4.8- Analyse relative au désassemblage des pièces du groupe de travail sur la voie

Certains essais pratiqués antérieurement par le service immatriculateur ont montré la possibilité de réaliser un montage erroné : il est possible d'enfiler la broche dans les flasques sans positionner l'arrêt de la broche sous l'ergot du flasque, comme le montre le schéma suivant :



Broche incorrectement engagée dans les bras de soutien de l'essieu G

Le scénario du 24 juillet 2006 pourrait ainsi s'expliquer, si la broche n°33 n'est pas correctement positionnée sous l'ergot des « bras G »: le devers de la courbe à droite et les vibrations du déraillement font sortir la broche de son logement sous l'effet de la gravité et des secousses. Dès la perte de cette broche (côté intérieur de la courbe) au pk 101,787, le groupe de travail s'est trouvé complètement déséquilibré. Le système « groupe de travail-essieu », déraillé et frottant sur les rails et les traverses, se trouve poussé par un seul côté (côté gauche dans le sens de la marche) qui tend à le positionner en diagonale de la voie.

Le mouvement de ce groupe de travail n'étant plus maîtrisé, tant en gabarit (bas et latéral) qu'en orientation de marche, provoque l'arrachement des pièces au sol et l'engagement du gabarit.

4.9- Maintenance réalisée précédemment sur la voie

Les programmes de maintenance de la voie ont été réalisés conformément au référentiel infrastructure, en ce qui concerne les tournées de brigade, les tournées des dirigeants de brigade ainsi que les tournées des dirigeants d'unités opérationnelles. Ces tournées de surveillance n'ont pas mis en évidence de situation en écart nécessitant une intervention spécifique. Comme cela a été évoqué précédemment au paragraphe 4.5.1, les enregistrements Mauzin des 19 octobre 2005 et

22 mars 2006 ont été réalisés et n'ont pas entraîné le déclenchement d'opération curative.

4.10- Expertise du train « P21/95 »

Les wagons « WM » et « WF », qui constituent le coeur de la partie active de ce train spécialisé, sont détruits. Les véhicules précédents et suivants sont partiellement récupérables.

L'annexe 14 montre une vue d'ensemble du train après relevage, au premier plan le wagon WF, puis, déconnecté, le wagon WM ; le groupe de travail étant déposé à part. La photo de l'annexe 15 indique en plus gros plan la déconnexion WM-WF. La photo de l'annexe 16 montre ce qu'il reste du groupe de travail, sans son essieu G. La photo de l'annexe 17 montre l'essieu G après qu'il ait été repêché dans le Rhône.

Après l'accident, l'essieu présente la roue 34 décalée sur son axe, ceci étant une conséquence du déraillement.

4.11- Exploitation et maintenance du train « P21/95 »

Le train de renouvellement P21/95, propriété de l'Entreprise de Travaux Ferroviaires, est exploité et maintenu par elle-même, selon un schéma de maintenance approuvé par la SNCF, à l'époque où celle-ci avait le rôle de réseau immatriculateur.

Le cycle de maintenance prévoit des examens journaliers, des opérations mensuelles, puis des travaux semestriels, annuels, et ensuite à échéance de 5 ans, 8 ans, 10 ans, 15 ans et 19 ans. Au 24 juillet 2006, l'engin P21/95 a parcouru depuis sa construction 290 000 km.

Les périodicités des travaux de maintenance sont cumulatives, ce qui signifie que les opérations mensuelles sont complétées par les examens journaliers. De même, les opérations semestrielles sont complétées par les opérations mensuelles et les examens journaliers et ainsi de suite. En outre, les opérations de maintenance mensuelles doivent être réalisées avant tout déplacement d'un chantier terminé vers un autre chantier à commencer.

La maintenance a été réalisée conformément aux périodicités prévues.

4.12- Evènements antérieurs survenus sur ce type de train

Le constructeur de cet engin (société suisse Matisa) a construit à ce jour une cinquantaine de trains de renouvellement de voie toujours régulièrement exploités dans le monde, dont une quinzaine de la même configuration que le P21/95 accidenté. Son retour d'expérience ne fait pas état d'un tel évènement, qui est inédit pour lui.

Selon les dires du constructeur, un bivoie (aiguille ayant tourné ou ayant été manoeuvrée sous le train) a été enregistré aux Pays-Bas, qui a affecté le bogie du wagon WF. En Italie, un essai de frein mal réalisé a entraîné une dérive de l'engin qui a été accidenté sur une voie en cul de sac. Ces deux évènements ne sont pas liés à la technologie spécifique de cet engin.

4.13- Mesures prises à la suite de l'accident

Aucune mesure conservatoire technique n'a pu être prise après l'accident, le diagnostic des causes se révélant incertain dans un premier temps et compte tenu du caractère unique de cet engin.

Par la suite, à la demande des représentants des entreprises de travaux de voies ferrées, le département spécialisé de la SNCF a repris une démarche visant à mettre en oeuvre une attestation de mise en circulation du matériel.

Il est en outre prévu que les anomalies relatives aux acheminements seront intégrées dans un indicateur relatif aux dysfonctionnements des chantiers de maintenance voie.

5- Déroulement de l'accident

5.1- La préparation du train de travaux 818 729

Le train est préparé en gare de triage de Culoz, d'où il doit être acheminé sur le chantier de renouvellement de voie entre Grenoble et Moirans (itinéraire figurant sur les annexes 3 et 4).

Stationnement puis acheminement du TTX :

La rame P21 stationne sur la voie 52 (en cul de sac, cf annexe 4) où l'entreprise ETF réalise les remises en état, vérifications diverses et maintenance périodique. Cette rame est poussée ensuite de la voie 52 vers la voie 28 du faisceau pair de Culoz ; elle est attelée en fond de voie avec les wagons de traverses, poubelle, pelle et les trois engins moteurs de queue. Puis en tête de voie viennent se raccorder les wagons de ballast, bungalow et grue, sous l'effort de traction des trois engins moteur de tête (itinéraire figurant sur l'annexe 4).

Une fois que les trois éléments du train sont accouplés sur cette voie 28, l'agent SNCF chef de la manoeuvre effectue le relevé de composition et la « reconnaissance à l'aptitude au transport » (vérifier l'absence d'engagement de gabarit, la bonne position des poignées des équipements de frein (marchandises/voyageurs, vide/chargé), les dates de révision non périmées, les attelages, la fermeture des wagons). Ces travaux préparatoires se concluent par la vérification du fonctionnement du frein du train.

Les vérifications spécifiques relatives à la rame spécialisée P21/95 sont effectuées par les agents de l'entreprise propriétaire et exploitante ETF. A titre d'exemple, pour les seuls véhicules WM et WF, l'immobilisation des dispositifs suivants est à assurer, selon le constructeur :

- wagon WM : traîneau AV, chenille G. et D., support de la pince n°6G, support de la pince n°6D, verrouillage du système de rotation en marche travail du bogie 8 (côté G), vérin côté G pour le levage du rail, vérin côté D pour le levage du rail, support de la pince n°7G, support de la pince n°7D, blocage en rotation du traîneau AR, verrouillage du groupe de travail, immobilisation de l'extracteur de traverses, immobilisation de l'évacuateur à ballast, du groupe charrue dynamique, du groupe cassette de pose, blocage de l'essieu escamotable.

Ces immobilisations s'effectuent par l'engagement de crochets, chevilles, loquets ou broches, avec dans certains cas assurance par un dispositif complémentaire de type « chaîne ».

- wagon WF : différents supports de pince, vérins pour le levage du rail, groupe tire traverses, tire rail.

Ces immobilisations s'effectuent à l'aide de chevilles, broches ou crochets et assurés complémentaiement par des chaînes.

Par ailleurs, la bonne exécution des verrouillages est confirmée pour la plupart d'entre eux par un signal électrique.

Outre la visite extérieure du train et la vérification du verrouillage des parties mobiles suspendues, les opérateurs de l'entreprise de travaux ferrés doivent assurer la mise en position des organes de frein, désactiver les freins d'immobilisation, vérifier les équipements de sécurité des engins moteurs ainsi que l'ensemble des agrès et vérifier que tous les travaux demandés dans le livret de maintenance sont effectués.

Ces vérifications sont inhérentes aux opérations de mise en véhicule de l'engin P21/95 (cf article 4.3 de la CG TR2E2 n°4). Ces opérations sont à la charge du propriétaire-exploitant du train P21/95. La consistance réelle des vérifications effectuées par l'agent ETF n'est pas consignée par écrit car non exigée par le manuel du constructeur ou l'agrément SNCF. Selon l'entreprise, deux

responsables réalisent contradictoirement, en fin de séance de travail, l'opération de contrôle de tous les verrouillages. De plus, la machine n'est expédiée que si les signaux électriques sont au vert ou si des dispositions spécifiques ont été prises.

De même, aucune traçabilité de l'opération de mise en véhicule n'a été réalisée entre cet agent et son homologue SNCF puisque l'échange s'est limité à une simple déclaration verbale.

5.2- La mise en route du train de travaux 818 729

L'heure de départ prévue est 17h58 ; finalement, le train est expédié de la voie 28 à 18h22 pour être dirigé vers Aix-les-Bains (voie 1) afin de se rendre sur son lieu de travail (cf annexe 4). La ligne empruntée par ce train est électrifiée (courant continu 1 500 volts) et est équipée du bloc automatique lumineux. L'itinéraire de sortie de la voie 28 du faisceau pair de Culoz concerne le passage par les aiguilles 360, 374, 380, 53a, 57 TRX, 53 TRX, 205a, 207v, 205v 213 av, 207b, 212a, 213b ; à ce moment-là, le TTX circule sur la voie D de la gare de Culoz (voie comportant un quai pour voyageurs).

5.3- Le déraillement de l'essieu de délestage de la rame P21/95

La progression du train de travaux voie D lui fait franchir l'aiguille 305v (raccordement de la voie C et de la voie de la sous-station à la voie D), puis l'aiguille 311v du raccordement de Genève puis les aiguilles 310bv et 312av de sortie et d'entrée d'IPCS. A la jonction des voies C et D, la voie D devient la voie 1, qui mène à Aix-les-Bains. Au pk 101,740, dans le raccordement de sortie de fin de courbe, la roue gauche (roue 34) de l'essieu G de la rame P21/95 monte sur le champignon du rail extérieur puis retombe à l'extérieur de la voie, 7 mètres plus loin, au pk 101,747 ; cette sortie d'essieu est attestée par les traces laissées sur le champignon du rail par le boudin de la roue gauche (dans le sens de la marche).

Selon l'analyse présentée au paragraphe 4.7.10 ci-dessus, ce déraillement résulte de l'allègement anormal de l'essieu G conjugué avec l'effet de la réduction du dévers caractéristique du raccordement parabolique d'une sortie de courbe de faible rayon, le train circulant à ce moment là à une vitesse de 35 km/h. La cause de ce déchargement vertical de l'essieu peut résulter de la conjonction d'une dissymétrie de masse du groupe de travail, de la rigidité torsionnelle accrue de l'ensemble (groupe de travail et la suspension de son essieu G de délestage) par rapport à la configuration d'origine et de chocs transversaux sur les butées de lisoirs des bogies des wagons WM et WF.

5.4- Les pertes de pièces de la rame P21/95 et l'engagement de gabarit

Depuis la voie C en gare de Culoz, le train rencontre quatre appareils de voie (305v, 311v et 310bv pris en talon et 312av pris en pointe). Après le raccordement de Genève, la voie 1 part en direction du pont du Rhône en alignement droit. Vingt-deux mètres après la montée de l'essieu sur le rail, une première pièce (une goupille) de la rame P21 tombe sur la voie au pk 101,772, puis un anneau d'amortisseur Lenoir (pk 101,773), puis une tôle alu gaufrée de marche-pied (pk 101,779), puis une broche de verrouillage (pk 101,787),... L'ensemble des pièces inventoriées tombées sur la voie proviennent en majorité de la suspension associée à l'essieu de délestage « G » : ressorts hélicoïdaux, anneaux d'amortisseur Lenoir, poussoir d'amortisseur, rondelles de calage sous ressorts, « tés de boîte » d'essieu.

L'altitude de l'essieu étant abaissée par rapport au niveau de la voie, les parties basses du

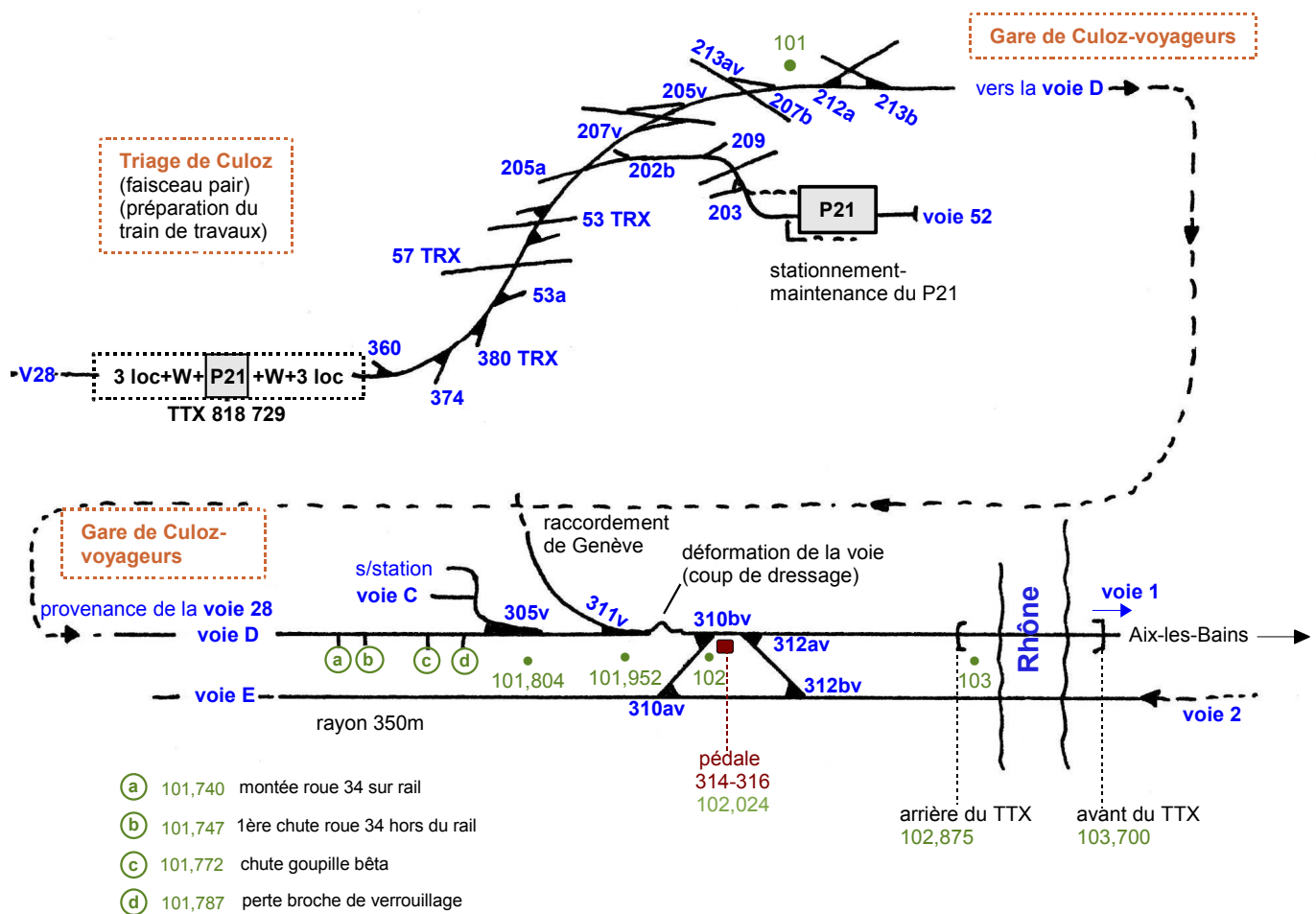
groupe de travail frottent au niveau du sol : accrochage contre la crosse de contre rail de l'aiguille 305, traces de frottement éparées sur le sol planchéié du PN1 et aussi l'entrevoie voie 1/voie 2 au niveau de ce passage à niveau. Le chevron de l'entrevoie au pk 101,870 est cassé, une attache fast-clip de l'aiguille 310 est arrachée. L'introduction de l'aiguille 310b est déformée (déripage en photo de l'annexe 21) : ce ne peut être le fait d'un essieu circulant déraillé, mais de toute la masse du groupe de travail qui se coince sur les appareils de la voie. La voie est ainsi ripée sur une longueur de 3 mètres, pour un écart maximum de 185 mm par rapport à la position rectiligne. Pour caractériser le mouvement transversal subi par le conducteur de queue, il se traduit pour lui par un mouvement alternatif transversal de $185 \times 2 = 370$ mm se produisant en 0,3 seconde (3 mètres parcourus à 10 m/s = 36 km/h), c'est à dire un mouvement transversal à une vitesse moyenne de 4,4 km/h pendant une demi-seconde, ce qui est peu perceptible pour des engins de ce confort. Même l'aiguille 310a de la voie est déformée par les frottements incontrôlés du groupe de travail ; le moteur de l'aiguille 310b situé à l'extérieur de la voie à gauche dans le sens de la progression est écrasé. Dans l'entrevoie voie 1, au pk 101,980, le crocodile* et la balise KVB* sont heurtés et cassés. Plus loin, le moteur de l'aiguille 312a et son appareillage connexe est détruit. Le talon de l'aiguille 312a a subi un coup de dressage latéral, de même pour la pointe de l'aiguille 312b de la voie 2.

Ces impacts révèlent que le groupe de travail n'est plus maîtrisé (d'autant que la perte de la broche 33 ne permet plus une poussée du groupe de travail selon l'axe de la voie, accentuant probablement l'importance de l'engagement de gabarit) : son fonctionnement débridé heurte les équipements de la voie en engageant les gabarits bas et latéraux droite et gauche, l'amplitude des écarts transversaux étant néanmoins limitée par le mou autorisé du câble de relevage.

Dans sa progression destructrice, le groupe de travail « déraillé » détruit la pédale et la balise KVB du carré 316 ainsi que le crocodile du pk 102,205, puis le crocodile du pk 103,100.

En ce qui concerne la déformation de la zone d'aiguille 310 (déformation du dressage de la voie ; annexe 21), le conducteur de queue du train de travaux n'a pas pu s'en rendre compte, compte tenu de sa non connaissance de la ligne et de son impression de circuler encore sur les voies de qualité médiocre du triage. Si le choc transversal ressenti avait été plus net, ce conducteur aurait probablement actionné le frein d'urgence à sa disposition et aurait ainsi pu faire arrêter le train avant le pont sur le Rhône (circulant aux alentours de 40 km/h, la distance disponible pour s'arrêter avant le choc étant de 950 mètres).

* Terme figurant dans le glossaire



5.5- Le heurt contre la poutre du tablier du pont du Rhône

Le positionnement erratique de l'essieu G et du groupe de travail provoque systématiquement l'engagement du gabarit. Le groupe de travail heurte les montants verticaux du tablier et pousse ce tablier longitudinalement hors de ses appuis.

Lors du choc, l'essieu G est déraillé du côté droit du train ; le groupe de travail est hors gabarit du côté droit, où il vient heurter la poutre de l'ouvrage d'art et est projeté sur la poutre latérale gauche ; le groupe de travail et l'essieu G se présentant alors en « crabe » (cf photo de l'annexe 2-1 montrant le heurt de la poutre de rive du pont, côté gauche).

5.6- Les risques encourus

Quelques mètres après le déraillement initial de l'essieu G et du frottement erratique du groupe de travail, sitôt franchie l'aiguille 305 où l'essieu a sauté vers l'entrevoie voie 1/voie 2, le gabarit de la voie 2 a été engagé ; si un train venant d'Aix-les-Bains était survenu à ce moment là, le choc entre les deux matériels ferroviaires aurait été inévitable, avec des conséquences plus ou moins graves.

Par ailleurs, on observe que l'extrémité du tablier de la travée de rive est tombée de ses appuis sur la culée ; le tablier de la voie 2 aurait pu être impacté dans ce choc.

6- Analyse et orientations préventives

Les éléments rassemblés à l'occasion de l'enquête conduisent à examiner, afin de prévenir de tels accidents, les conditions et procédures de contrôle du train de travaux avant son départ.

En outre, la dynamique particulière du groupe de travail de l'engin de renouvellement des voies conduit à s'interroger sur les conditions d'autorisation de circulation de tels équipages.

6.1- Etat initial et procédures de contrôle préalables au départ du train

Au moment de son départ de Culoz, l'engin P21/95 incorporé dans le train de travaux est dans un état de mise en véhicule apparemment satisfaisant, mais probablement avec un dispositif de verrouillage incorrectement engagé.

La position probablement défectueuse de la broche, non bloquée par l'ergot de sécurité, n'a pas été détectée lors des contrôles, effectués avant le départ de Culoz, par l'entreprise propriétaire et exploitante de l'engin spécialisé. Il apparaît normal que la bonne mise en véhicule d'un engin spécialisé soit contrôlée par un représentant de l'exploitant de cet engin.

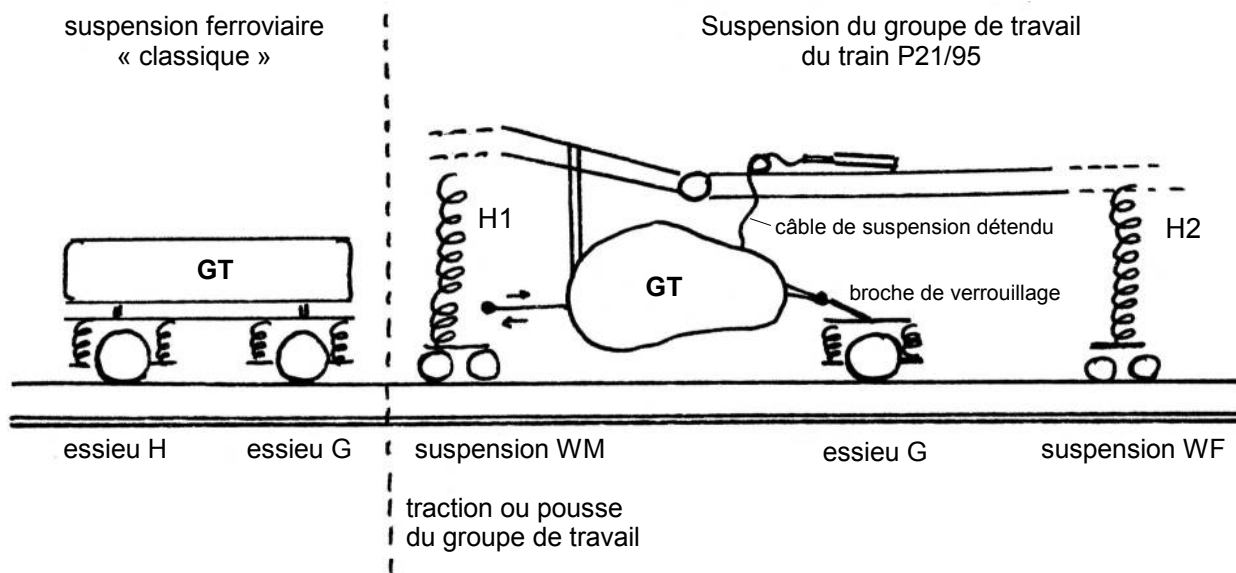
Par ailleurs, la procédure n'est pas traçable : aucune attestation de mise en ordre de route certifiant le bon état de l'engin spécialisé n'est demandée à l'exploitant de cet engin et le chef de la manoeuvre SNCF se contente d'une simple déclaration verbale.

Il apparaît donc nécessaire que la procédure d'autorisation de départ s'appuie sur des documents écrits et traçables établis par les intervenants concernés, ce qui contribuerait à clarifier le rôle de chacun. Des travaux antérieurs ont déjà été menés entre l'exploitant ferroviaire et les entreprises de travaux de voies ferrées, ayant pour objectif la conception d'une « attestation de mise en ordre de route ». RFF, responsable de l'approbation et de la publication des règles d'exploitation élaborées par la SNCF (en tant que gestionnaire d'infrastructure délégué), fera mettre au point la consistance de cette attestation.

Recommandation R1 (SNCF, RFF) : lors de l'acheminement en ligne d'un matériel spécialisé (agrée travaux ferroviaires) incorporé dans un train de travaux, de la zone de travaux vers le lieu de garage et vice-versa, conditionner l'autorisation de départ par la remise au préalable d'une attestation de mise en ordre de route dûment signée du représentant de l'exploitant de ce matériel spécialisé à l'agent formation chargé de délivrer l'autorisation de départ. Celui-ci pourra alors transmettre l'information « train prêt au départ » à l'agent du GID (Gestionnaire d'Infrastructure Délégué) qui pourra ensuite autoriser l'accès au réseau par l'ouverture du signal correspondant.

6.2- Conditions d'agrément de l'engin P21/95

Le groupe de travail et son essieu G constituent un véhicule ferroviaire inédit en comparaison des systèmes ferroviaires « classiques ». Nous pouvons exprimer cette particularité selon les deux croquis suivants, où une suspension « classique » du groupe de travail serait représenté par un appui sur un bogie :



La particularité de la suspension de ce groupe de travail réside dans une suspension dissymétrique en quatre points : d'un côté appui sur le rail par un essieu muni d'une boîte à oreille, de l'autre côté suspension sur un bogie fictif par un accrochage en plafond sous un système de poutres articulées WM-WF, elles-mêmes suspendues sur les bogies B et D de leur véhicules respectifs. Indépendamment du modèle de calcul à adapter à une telle architecture pour déterminer les caractéristiques d'une telle suspension, il semble utile de tester le comportement en ligne du groupe de travail en quatre points et au travers des essieux impliqués (essieu G et essieux du bogie B du véhicule WM) aux différentes vitesses de circulations autorisées et aux différentes géométries de voie rencontrées (nous avons vu au paragraphe 3.5.2 « agrément », que le comportement dynamique du train a été évalué selon la méthode simplifiée du paragraphe 5.3 de la fiche UIC 518). Il est souhaitable de vouloir mieux évaluer les limites de gauchissement, le roulis et le tangage de ce système, de façon à apprécier les écarts de chargement et de déchargement roue 34/ roue 33 pour différentes configurations de voie et de vitesse. De même, il est souhaitable qu'en sortie de construction, un pesage roue par roue soit effectué pour remédier à d'éventuels déséquilibres statiques de la masse sur rail.

Les spécialistes de la dynamique ferroviaire s'accordent à penser que la méthode simplifiée accélérométrique, limitée en outre aux alignements et aux courbes de grand rayon, peut sembler insuffisante pour attester du bon comportement dynamique d'engins aussi complexes. La fiche UIC 518 fait l'objet actuellement d'une révision, et le paragraphe relatif aux engins spéciaux peut être concerné. On distinguerait désormais les engins spéciaux non seulement par leur usage et leur faible nombre (à l'origine du protocole allégé) mais aussi par leur conception technique. Un véhicule complexe pourrait désormais être considéré comme véhicule de technologie nouvelle, et essayé comme tel, c'est-à-dire en lui appliquant la « méthode normale » qui comprend la mesure des forces horizontales Y et des forces verticales Q selon la procédure complète comportant les quatre zones type d'essais.

Recommandation R2 (SNCF, RFF) : pour de futurs engins de travaux de voie, d'architecture complexe relevant du référentiel IN 1418, vérifier l'aptitude au franchissement des gauches de voie et appliquer pour l'essai en ligne le protocole prescrit par la fiche UIC 518 pour les véhicules de technologie nouvelle, qui prévoit notamment la mesure des forces d'interaction roue/rail Y et Q. Dans le cas d'un train d'architecture semblable à celle du P21/95, au moins

l'essieu du groupe de travail devra être soumis à de telles mesures.

A l'occasion de cette enquête, il apparaît pertinent d'envisager que l'Etablissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF) soit habilité à son niveau à autoriser les engins spéciaux de travaux voie comme il l'est pour les autres véhicules ferroviaires.

6.3- Conditions d'exploitation des trains de travaux

Le rôle qu'a joué l'agent circulation du PRS de Culoz a été décrit au paragraphe 4.1.3. Cet agent a été alerté du déraillement du train de travaux, de l'engagement de gabarit et des destructions qu'il occasionnait ; il a agi réglementairement, mais n'a pas pu entrer en liaison directe avec le conducteur du train de travaux pour ordonner l'arrêt d'urgence du train, du fait qu'aucun équipement radio sol-train n'existait à bord de ce train. Si cette liaison radio avait pu être établie, le train de travaux aurait certainement pu être arrêté avant le pont.

Rappel réglementaire : la réglementation actuelle établit un lien entre l'équipement d'un train en personnel et l'équipement du train en radio sol-train. Le règlement S9B (fiche 31) précise que les trains de travaux, en dehors de leur parcours de travail, sont soumis, en ce qui concerne les règles d'équipement en personnel, aux dispositions prévues pour les trains ordinaires. Le référentiel IN 1671 (article 103.3) pour les «trains ordinaires» précise que la présence d'un agent d'accompagnement est exigée si le train [...] circule sur une ligne à plusieurs voies sans radio sol-train. L'application de cet article au cas d'une ligne équipée de radio sol-train permet de se passer d'agent d'accompagnement en pareille situation. Le train de travaux 818 729 pourvu d'un agent d'accompagnement respectait donc la réglementation en vigueur ; il s'avère souhaitable de faire évoluer la réglementation en vigueur de façon que les trains de travaux comportant des engins spécialisés relevant de l'homologation IN 1418, circulent en ligne avec un équipement radio sol-train fixe ou mobile, quel que soit l'équipement en agents d'accompagnement.

Recommandation R3 (RFF, SNCF) : faire évoluer le référentiel relatif à la circulation des trains de travaux ; lorsque ces trains circulent en dehors de leur parcours de travail sur des lignes équipées de la radio sol-train, et quel que soit l'équipement en agent d'accompagnement, prévoir la liaison radio sol-train à bord du train, de type RST analogique ou RST GSMR*.

* Terme figurant dans le glossaire

7- Conclusions et recommandations

7.1- Identification des causes et facteurs associés

Dans cet accident, la géométrie de l'infrastructure ferroviaire ne comporte pas de d'écart nécessitant une correction immédiate et la conduite du train n'a pas révélé d'anomalie.

Les causes et facteurs identifiées de l'accident sont les suivantes, en utilisant pour les classer, la terminologie de l'annexe 5 de la directive sécurité ferroviaire :

7.1.1- Causes directes

La cause directe immédiate du déraillement est un déchargement de la roue gauche (34) de l'engin spécialisé P21/95. Ce déchargement en présence d'un gauche de raccordement de sortie de courbe résulte probablement d'une conjonction de trois éléments :

- une probable dissymétrie de répartition des masses du groupe de travail de l'engin P21/95, cette dissymétrie ayant été détectée mais pas caractérisée quant à sa cause précise;
- une plus grande rigidité torsionnelle de l'ensemble (groupe de travail et suspension associée de son essieu de délestage), vraisemblablement trop forte, après que celui-ci ait été équipé de ressorts de suspension plus raides pour éviter les talonnements ;
- des à-coups transversaux du système de liaison wagon WM – wagon WF, ayant pu accentuer ponctuellement des déchargements et des surcharges des roues de l'essieu de délestage G.

Un quatrième facteur n'a pas été retenu (hypothèse d'un relâchement insuffisant du câble de relevage du groupe de travail), faute d'avoir pu réaliser l'ensemble des tests permettant d'en évaluer la plausibilité.

7.1.2- Facteur causal susceptible d'avoir joué un rôle

L'insuffisance des tests d'homologation de l'engin P.21/95 n'a pas permis de garantir une connaissance adéquate du comportement dynamique de l'engin.

A l'occasion de l'enquête, les conditions d'homologation de ce train de renouvellement ont été examinées; conformément aux exigences de l'époque, seule une méthode simplifiée a été utilisée pour attester du bon comportement dynamique d'un engin aussi complexe.

7.1.3- Facteur aggravant lié aux procédures d'exploitation

L'absence de liaison radio sol-train à bord du train de travaux a constitué un facteur aggravant, en ne permettant pas d'arrêter le train avant qu'il ne franchisse le pont sur le Rhône.

7.1.4- Autres constats effectués à l'occasion de l'enquête technique

Il a été constaté une sécurisation insuffisante de la mise en véhicule de l'engin de travaux (absence de solidarisation viable de la broche de verrouillage par une goupille bêta, engagement probablement inefficace de la broche de verrouillage vis-à-vis de l'ergot de sécurité des flasques support de l'essieu « G » de délestage).

Il a en outre été noté l'absence de traçabilité des opérations de mise en véhicule de l'engin P21/95, traçabilité qui permettrait une information fiable entre les opérateurs chargés de la sécurité du train et ceux chargés du mouvement du train.

7.2- Rappel des recommandations

Les recommandations formulées portent sur :

- la formalisation des procédures d'autorisation de départ pour assurer une bonne traçabilité des interventions de l'exploitant du matériel spécialisé ;
- l'équipement des trains de travaux comportant des engins spécialisés relevant de l'IN 1418 en radio sol-train ;
- la procédure d'homologation de tels matériels spécialisés (il paraît souhaitable que le paragraphe relatif aux engins spéciaux dans la fiche UIC 518 soit modifié dans le cadre des travaux internationaux de révision de cette fiche).

Recommandation R1 (SNCF, RFF) : lors de l'acheminement en ligne d'un matériel spécialisé (agréé travaux ferroviaires) incorporé dans un train de travaux, de la zone de travaux vers le lieu de garage et vice-versa, conditionner l'autorisation de départ par la remise au préalable d'une attestation de mise en ordre de route dûment signée du représentant de l'exploitant de ce matériel spécialisé à l'agent formation chargé de délivrer l'autorisation de départ. (Celui-ci pourra alors transmettre l'information « train prêt au départ » à l'agent du Gestionnaire d'Infrastructure Délégué qui pourra ensuite autoriser l'accès au réseau par l'ouverture du signal correspondant).

Recommandation R2 (SNCF, RFF) : pour de futurs engins de travaux de voie, d'architecture complexe relevant du référentiel IN 1418, vérifier l'aptitude au franchissement des gauches de voie et appliquer pour l'essai en ligne le protocole prescrit par la fiche UIC 518 pour les véhicules de technologie nouvelle, qui prévoit notamment la mesure des forces d'interaction roue/rail Y et Q. Dans le cas d'un train d'architecture semblable à celle du P21/95, soumettre à de telles mesures au moins l'essieu du groupe de travail.

Recommandation R3 (RFF, SNCF) : faire évoluer le référentiel relatif à la circulation des trains de travaux ; lorsque ces trains circulent en dehors de leur parcours de travail sur des lignes équipées de la radio sol-train, et quel que soit l'équipement en agent d'accompagnement, prévoir la liaison radio sol-train à bord du train, de type RST analogique ou RST GSMR.

ANNEXES

- Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête
- Annexe 2 : Vues de l'accident
- annexe 2-1 : le pont de la voie 1 Culoz – Aix-les-Bains
 - annexe 2-2 : vue aérienne du pont sur le Rhône accidenté
- Annexe 3 : Carte ferroviaire : Culoz, zone de travail prévue du train de travaux
- Annexe 4 : Cheminement du train de travaux depuis son lieu de garage jusqu'au lieu de l'accident
- Annexe 5 : Traces de la chute de la roue 34 de l'essieu G depuis le champignon du rail (pk 101,747) sur le patin extérieur du rail
- Annexe 6 : Un ressort de la roue droite (33) de l'essieu G : matage des spires
- Annexe 7 : Cheminement au sol de l'essieu G déraillé
- Annexe 8 : Traces laissées par le boudin de la roue 34 de l'essieu G sur les entretoises de l'aiguille 310
- Annexe 9 : Identification du positionnement des pièces tombées sur la voie en provenance du train P21/95
- Annexe 10 : Premières pièces du train P21/95 tombées sur la voie : goupille bêta et anneau d'amortisseur
- Annexe 11 : Troisième et quatrième pièces du train P21/95 tombées sur la voie : tôle gaufrée et broche de verrouillage
- Annexe 12 : Broche de verrouillage dans son logement de repos
- Annexe 13 : Broche de verrouillage solidarissant les bras de tenue de l'essieu G
- Annexe 14 : Train P21/95 après relevage : reste des WM et WF
- Annexe 15 : Train P21/95 après relevage : gros plan sur la déconnexion des wagons WM/WF
- Annexe 16 : Restes du groupe de travail (traîneau chenille)
- Annexe 17 : Essieu G après repêchage dans le Rhône
- Annexe 18 : Traverse de liaison de l'essieu G
- Annexe 19 : Câble et vérin de levage du groupe de travail
- Annexe 20 : Sécurité de verrouillage : goupille bêta susceptible d'être utilisée pour bloquer la broche de verrouillage
- Annexe 21 : Déformation de la voie 1 entre les aiguilles 311 et 310
- Annexe 22 : Vue aérienne du site ferroviaire de Culoz, depuis le triage jusqu'au pont du Rhône
- Annexe 23 : Débattements transversaux du groupe de travail du train P21/95 lors des

circulations en courbe de rayon serré

Annexe 24 : Eraflures visibles sur le dessous de boîte de la roue 34

Annexe 25 : Procédures de dégagement (ragréage) du train de renouvellement P21/95

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



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

BEA-TT 2006-009

DECISION

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

Vu la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport et notamment son titre III sur les enquêtes techniques ;
Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier susvisée, est ouverte concernant le déraillement d'un train de travaux entre Chambéry et Culoz survenu le lundi 24 juillet 2006.

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 **04 AOUT 2006**

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

Dominique PERBEN

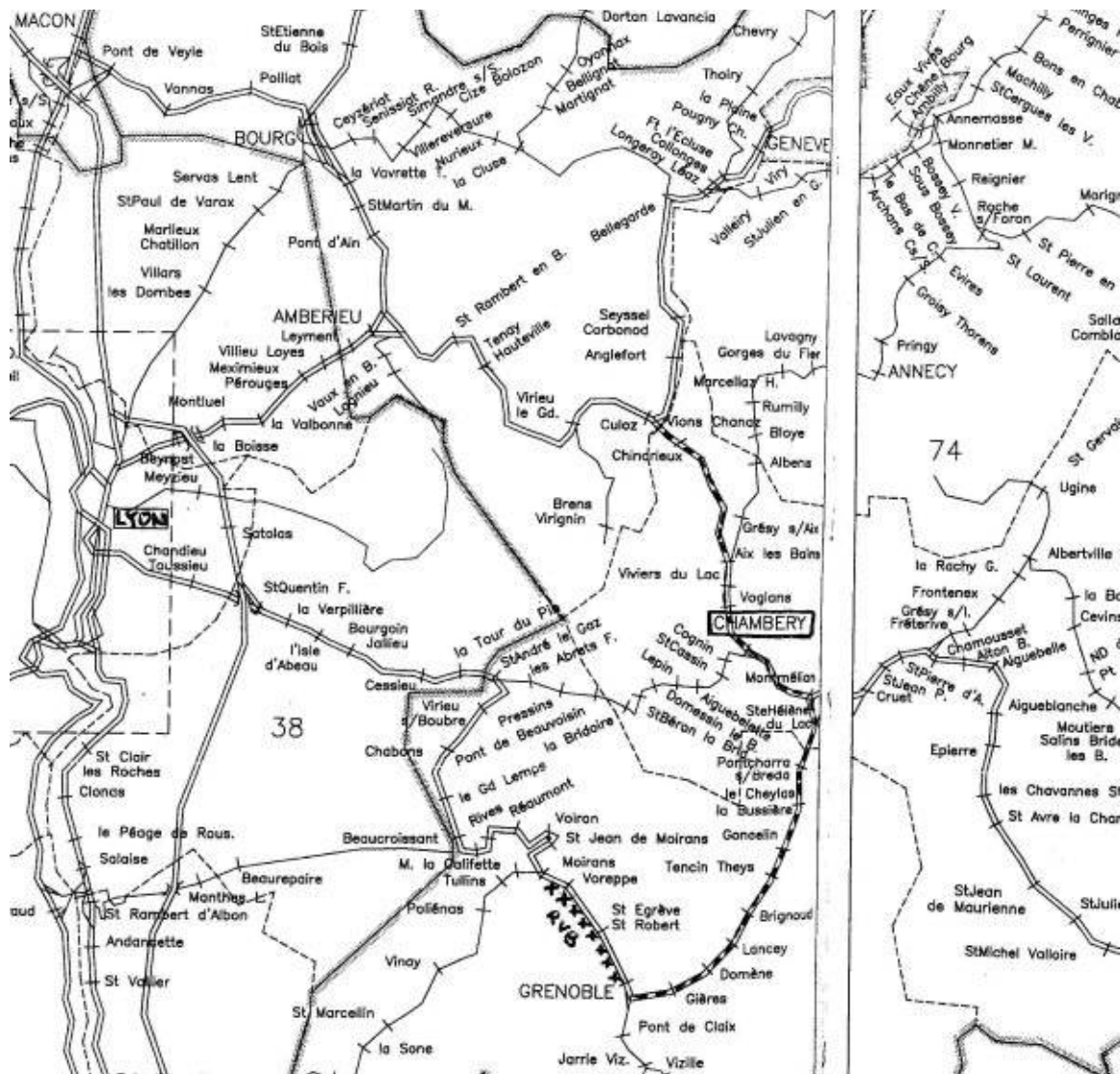
Annexe 2 : Vues de l'accident
annexe 2-1 : le pont de la voie 1 Culoz – Aix-les-Bains



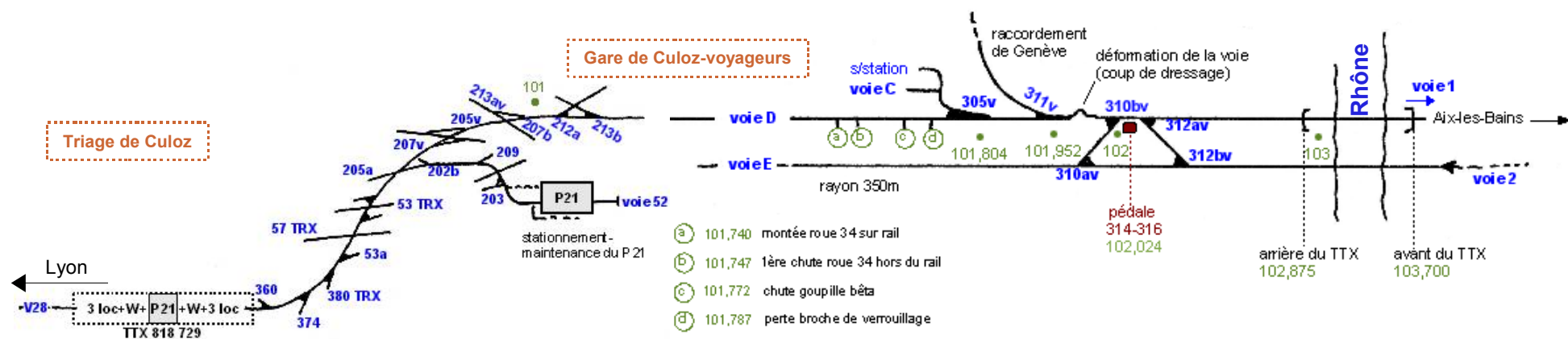
annexe 2-2 : vue aérienne du pont sur le Rhône accidenté



Annexe3 : Carte ferroviaire Culoz, zone de travail prévue du train de travaux



Annexe 4 : Cheminement du train de travaux depuis son lieu de garage jusqu'au lieu de l'accident



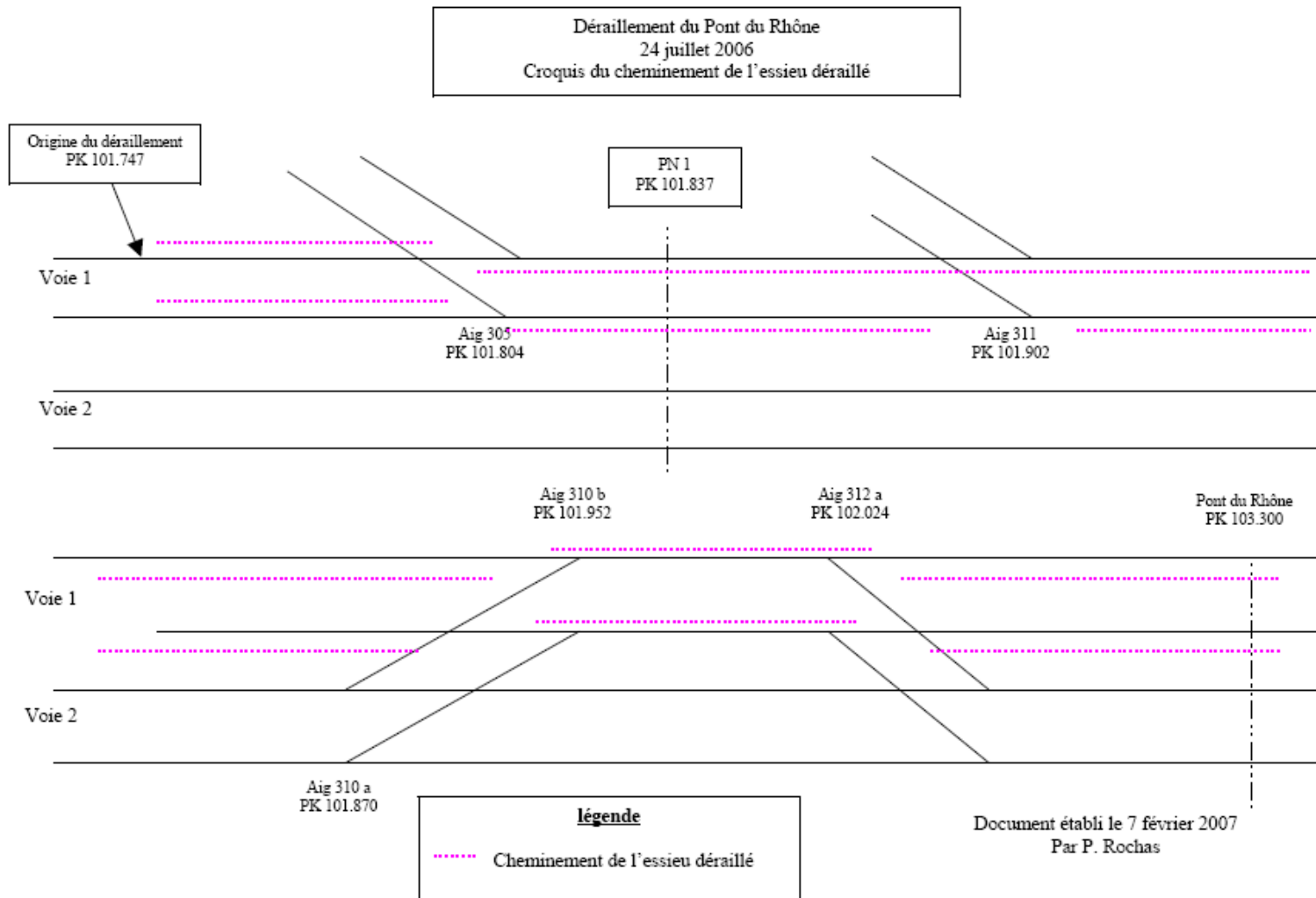
Annexe 5 : Traces de la chute de la roue 34 de l'essieu G depuis le champignon du rail (pk 101,747) sur le patin extérieur du rail



Annexe 6 : Un ressort de la roue droite (33) de l'essieu G : matage des spires



Annexe 7 : Cheminement au sol de l'essieu G déraillé



Annexe 8 : Traces laissées par le boudin de la roue 34 de l'essieu G sur les entretoises de l'aiguille 310



Annexe 9 : Identification du positionnement des pièces tombées sur la voie en provenance du train P21/95

<i>n° de pièce</i>	<i>désignation</i>	<i>pk</i>	<i>emplacement</i>
	montée roue 34 sur le rail	101,740	
	première chute de la roue 34 hors du rail	101,747	
0	goupille bêta	101,772	entrevoie V1-V2
1	anneau d'amortisseur Lenoir	101,773	entrevoie V1-V2
2	tôle gaufrée de marche-pied	101,779	entrevoie V1-V2
3	broche de verrouillage essieu G	101,787	entraxe V2
4	cale sous ressort de suspension	101,789	entraxe V1 à 2 m du coeur de l'aiguille 305
5	douille guide de ressort	101,789	idem
6	cale sous ressort de suspension	101,789	idem
7	axe de fixation du Té de boîte d'essieu	101,790	axe voie 1
8	cale de guidage ressort suspension essieu G	101,791	entrevoie V1-V2 sur tête de traverses
9	rondelle	101,790	intérieur voie 2
10	poussoir Lenoir de l'essieu G	101,791	entrevoie V1-V2
11	chapeau de ressort de suspension essieu G	101,793	partie intermédiaire aiguille 305
12	anneau d'amortisseur Lenoir	101,793	idem
13	ressort de suspension essieu G	101,795	extérieur voie 2 sur têtes de traverses
14	guide de ressort suspension essieu G	101,796	extérieur voie 1
15	ressort de suspension	101,805	entrevoie, à 0,5m de l'entretoise talon aiguille 305
16	Té de boîte d'essieu (essieu G)	101,810	première barre de commutation aiguille 305
17	guide de ressort de suspension essieu G	101,821	entrevoie sur têtes de traverses voie 2
18	morceau de glissière de boîte d'essieu	101,823	extérieur voie 1
19	partie inférieure de la boîte d'essieu cassée	101,916	intérieur voie 1
20	rondelle de calage sous ressort de suspension essieu G	101,916	intérieur voie 1
21	cylindre de nettoyeur de bandage de roue	101,917	idem
22	guide de ressort de suspension	101,919	idem

<i>n° de pièce</i>	<i>désignation</i>	<i>pk</i>	<i>emplacement</i>
23	ressort de suspension	101,919	idem
24	rondelle de calage sous ressort	101,939	idem
25	guide de ressort	101,942	extérieur voie 1
26	ressort de suspension	101,945	intérieur voie 1
27	2 ^{ème} chapeau de ressort de suspension.	102,078	intérieur voie 1
28	3 ^{ème} anneau d'amortisseur Lenoir	102,080	idem
29	chapeau d'odomètre	102,088	entrevoie, tête de traverse voie 2
30	poussoir Lenoir	102,090	extérieur voie 1
31	Té de boîte d'essieu	102,199	extérieur voie 1
32	?	102,305	intérieur voie 1
33	anneau de chaînette	102,310	extérieur voie 1
34	morceau de caillebotis	103,370	entrevoie 2

**Annexe 10 : Premières pièces du train P21/95 tombées sur la voie
Goupille bêta et anneau d'amortisseur**



**Annexe 11 : 3ème et 4ème pièces du train P21/95 tombées sur la voie
Tôle gaufrée et broche de verrouillage**



Annexe 12 : Broche de verrouillage dans son logement de repos



Annexe 13 : Broche de verrouillage solidarissant les bras de liaison de l'essieu G



Annexe 14 : Train P21/95 après relevage : reste des WM et WF



Annexe 15 : Train P21/95 après relevage : gros plan sur la déconnexion des wagons WM/WF



Annexe 16 : Restes du groupe de travail



Traineau chenille qui se positionne sous le wagon WM en position travail

Annexe 17 : Essieu G après repêchage dans le Rhône



Annexe 18 : Traverse de liaison de l'essieu G



Annexe 19 : Câble et vérin de levage du groupe de travail



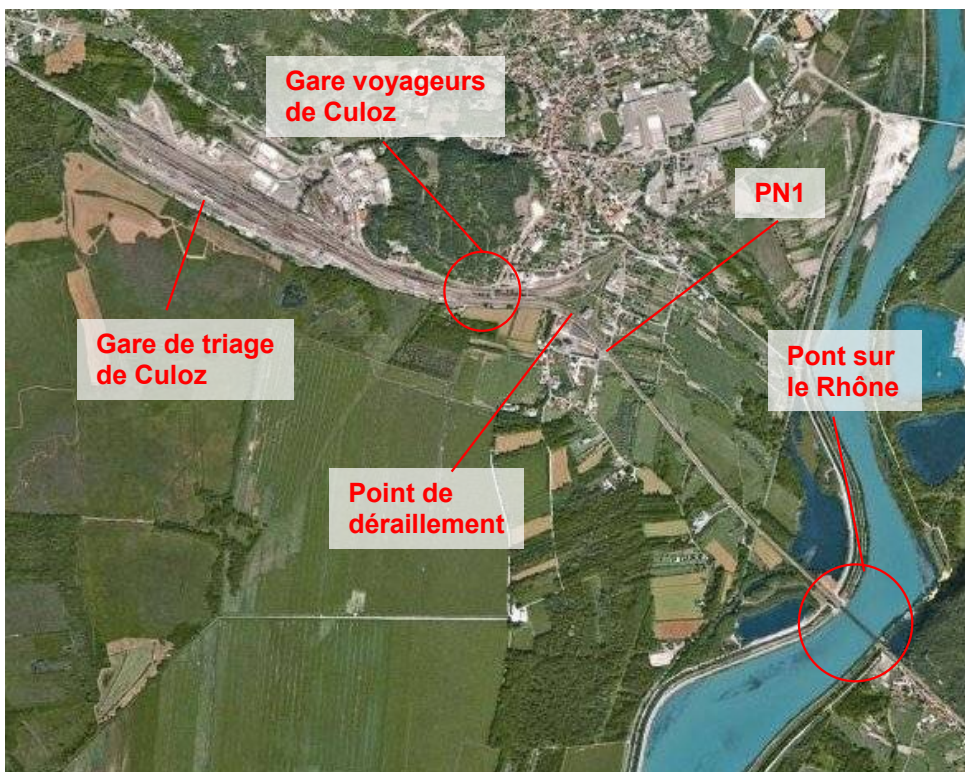
Annexe 20 : Sécurité de verrouillage : goupille bêta susceptible d'être utilisée pour bloquer la broche de verrouillage



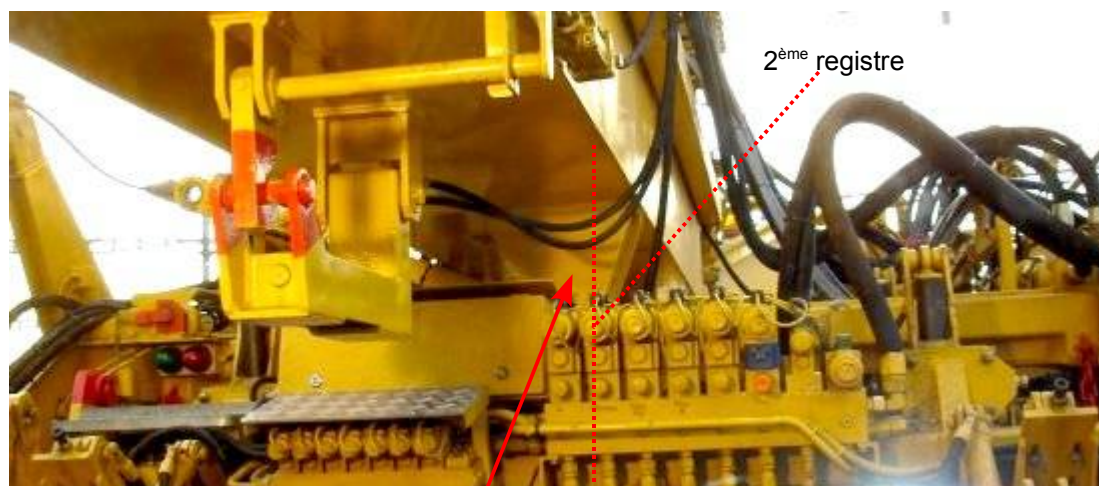
Annexe 21 : Déformation de la voie 1 entre les aiguilles 311 et 310



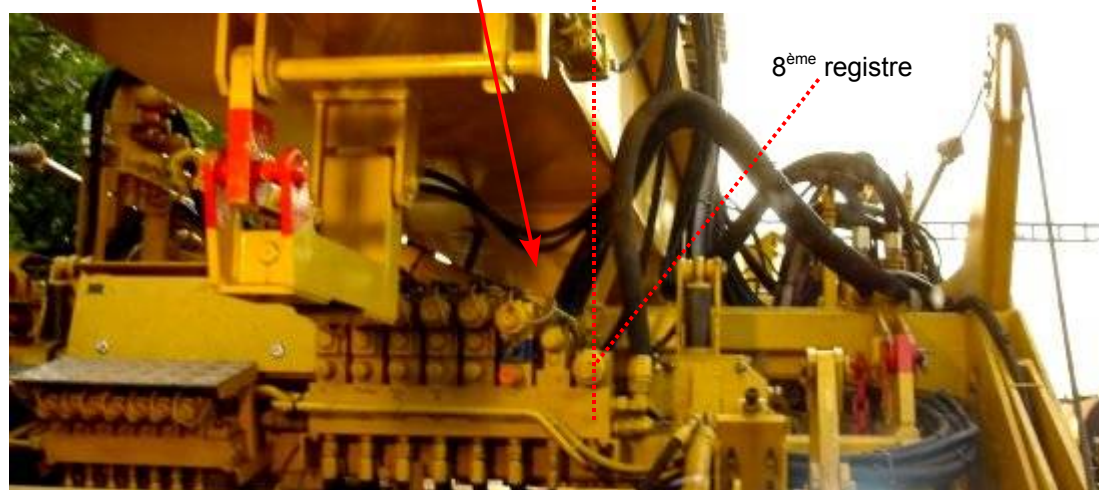
Annexe 22 : Vue aérienne du site ferroviaire de Culoz, depuis le triage jusqu'au pont ferroviaire du Rhône



Annexe 23 : Débattements transversaux du groupe de travail du train P21/95 lors des circulations en courbe de rayon serré



support du vérin de ripage du « groupe de travail »



Annexe 24 : Eraflures visibles sur le dessous de boîte de la roue 34



**Annexe 25 : Procédures de dégagement (ragréage) du train de renouvellement
P21/95**

Procédures d'engagement et de dégagement d'un Train de Renouvellement

Remarque:

Les procédures décrites ci-dessous sont des extraits de la procédure complète, elles ne reprennent que les phases qui englobent et entourent le groupe de travail. En excluant par exemple le WR et le WESF.

1.1 Procédure d'engagement du Train de Renouvellement.

Lors de cette opération de manipulation des rails le groupe de travail peut être déverrouillé :

- S'assurer que l'interrupteur de commande du groupe de travail est enclenché (sur le boîtier EAB) sur le positionnement manuel du groupe de travail et de la charrue dynamique.
 - Déverrouiller l'avant du groupe de travail (pt 3.2.2 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
 - Ecarter les parties coulissantes du vérin de verrouillage
 - Lever l'avant du groupe de travail
 - Lever l'arrière du groupe de travail jusqu'à décoller l'essieu de la voie.
 - Déverrouiller l'essieu du groupe de travail, et placer les axes dans leur support. (pt 3.2.12 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
 - Déverrouiller et ouvrir le verrouillage "travail" de l'essieu du groupe de travail (pt 3.2.14 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
 - Lever l'essieu.
 - Fermer et verrouiller l'essieu en position de travail
-
- **Relâcher suffisamment les deux câbles de levage de l'essieu, afin de prévenir de les mettre en tension Durant le travail avec la machine.**



Personne n'est autorisé à stationner sous l'essieu du groupe de travail s'il n'est pas verrouiller mécaniquement.

La machine peut avancer jusqu'à ce que le bogie B soit positionné au point de coupe des rails.

- Positionner le cylindre d'orientation du bogie B
- Déverrouiller le traîneau avant
- Positionner le traîneau avant sur les traverses de l'ancienne voie.
- Corriger la direction du traîneau avant si nécessaire
-

Ne pas charger le wagon WM durant cette opération

La machine continue d'avancer jusqu'à ce que le traîneau arrière puisse être abaissé et que les rails puissent être positionnés sur les pinces 6 et 7.

Les anciens rails doivent passer par dessus les nouveaux rails.

- Déverrouiller le traîneau arrière (pt 3.2.1 et 3.1.2 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
- Positionner le traîneau arrière sur les traverses
- Corriger la direction du traîneau arrière si nécessaire.

Les transporteurs NT peuvent être chargés en traverses aussitôt que les deux traîneaux sont en position de travail.

L'opération de collecte des anciennes traverses peut débuter.

- Déverrouiller les cornes de dépose (pt 3.2.6 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)

- Abaisser les cornes afin de les positionner pour la dépose des traverses.
- Déposer les deux premières traverses en utilisant les cornes.
- Abaisser complètement les cornes



Il est important d'abaisser complètement les cornes, elles seront ainsi en appui sur sa butée mécanique libérant les contraintes dans les cylindres hydrauliques.

- Abaisser le groupe de travail lors de l'avance de la machine.
- Connecter le cylindre de déplacement latéral du groupe de travail (pt 3.2.11 du document « Verrouillage Groupe de Travail ») et les potentiomètres de mesure du groupe de travail.

Il est important d'abaisser le groupe de travail lors de l'avance de la machine cela permet aux cornes de dépose de pénétrer dans la plateforme de la voie. Abaisser le groupe de travail sans avancer avec la machine provoque des contraintes importantes dans les cylindres de montée descente du groupe de travail. Ce qui apporterait un sérieux risque de casser des éléments mécaniques.



- Abaisser la roué de dépose.
- Démarrer le cycle des transporteurs des anciennes traverses.
- Démarrer le cycle de dépose des anciennes traverses.
- Déposer les anciennes au fur et à mesure de l'avancement de la machine.
- Maintenir les rails à l'aide des rouleaux verticaux situés le long du groupe de travail. (pt 3.2.8 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)

Le traitement peut maintenant débuter:

- Déverrouiller le régaleur à ballast (pt 3.2.7 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
- Abaisser le régaleur à ballast
- Préparer la plateforme d'insertion de la charrue dynamique en utilisant le régaleur.

De manière à faciliter l'opération d'éclissage des rails il est recommandé de poser la première traverse plus basse que le niveau final.

- Déverrouiller la charrue dynamique (pt 3.2.9 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
- Abaisser le charrue dynamique dès que possible
- S'assurer que tous les potentiomètres du panneau de commande EAB sont réglé sur "0".
- Ajuster le potentiomètre A sok (hauteur de l'ancienne voie)
- Ajuster le potentiomètre N sok (hauteur de la nouvelle voie)
- Démarrer les pistons de la charrue dynamique
- Enclencher tous les asservissements du groupe de travail
- Corriger la position de la nouvelle voie en utilisant les potentiomètres du panneau de commande EAB, si nécessaire



Il est important de démarrer les asservissements du groupe de travail et de la charrue dynamique Durant l'avance de la machine, cela permet une pénétration de la plateforme plus aisée.

La pose des nouvelles traverses peut débuter.

- Déverrouiller le groupe de pose (pt 3.2.10 du document « Verrouillage Groupe de Travail »)
- Abaisser le groupe de pose dès que possible et ajuster sa position en utilisant le mouvement de l'articulation (le bras de pose doit toucher la plateforme lorsqu'il est totalement abaissé.
- Ouvrir le frein de traverses
- Fermer l'équerre de transfert
- S'assurer que le travelage programmer est correct.
- Démarrer le cycle de pose en suivant la procédure

Les transporteurs NT et les transporteurs du wagon WTP peuvent démarrer en cycle automatique.

- S'assurer que les guides des traverses sont correctement positionnés.

Les portiques peuvent alimenter le train de renouvellement avec des nouvelles traverses et évacuer les anciennes traverses.

L'avancement du train peut continuer jusqu'à ce que les rails se trouvent entre les pinces 9 et 10.

- Lever les anciens rails en utilisant les outils de levage de rails
- Placer les anciens rails sur la pince 8
- Lever les nouveaux rails en utilisant les outils de levage de rails
- Placer les nouveaux rails sur la pince 9

L'avancement de la machine peut continuer jusqu'à ce que les rails se trouvent entre les pinces 10 et 11

- Lever les nouveaux rails en utilisant les outils de levage des rails.
- Placer les nouveaux rails sur la pince 10

L'avancement de la machine peut reprendre jusqu'à ce que le bogie arrière du train se trouve au point de coupe de l'ancienne voie.

- Introduire les nouveaux dans la pince 11.
- Aligner les nouveaux rails sur les nouvelles traverses.
- Approcher les nouveaux rails du point d'éclissage en utilisant les tire-rail de la pince 11.
- Éclisser les rails.

Poursuivre l'avancement du travail jusqu'à ce que les anciens rails se trouvent à proximité de la pince 12

- Lever les anciens rails en utilisant l'outil de levage des rails.
- Placer les anciens rails sur la pince 12
- Déverrouiller et abaisser l'outil d'insertion des attaches Fast-clip
- Démarrer le cycle de travail l'outil d'insertion des attaches Fast-clip
- La production peut continuer, cependant il est nécessaire de contrôler le comportement des rails dans les diverses pinces.

1.2 Procédure de dégagement du Train de Renouvellement

- Déployer le régaleur à l'avant de la charrue dynamique
- Démarrer le régaleur afin d'évacuer le ballast sur le côté de la machine.

la profondeur de travail du régaleur doit être la même que celle de la charrue dynamique

Lorsque le traîneau avant se trouve à 1 mètre du point de sortie

- Lever le traîneau avant
- Verrouiller le traîneau avant

Durant la phase où le train de renouvellement repose sur un traîneau il est préférable de ne pas trop charger le WM, et ainsi d'éviter de venir sur ce wagon avec le portique.

Continuer d'avancer avec la machine

- Enrailler le bogie B

pour faciliter l'enraillement il est possible d'orienter le bogie B à l'aide d'un vérin hydraulique spécialement dédié à cette tâche.

Dès que le bogie est à nouveau sur les rails

- Découpler le cylindre d'orientation de ce bogie
- Verrouiller ce cylindre
- Arrêter l'asservissement du groupe de travail et de la charrue dynamique, en commutant les interrupteurs concernés sur manuel
- Lever l'avant du groupe de travail, partiellement
- Corriger la hauteur de travail du régaleur à ballast
- Lever le traîneau arrière
- Verrouiller le traîneau arrière
- Verrouiller le balancier des traîneaux.

l'avant du groupe de travail doit être partiellement lever avant de lever le traîneau arrière, sinon il y a risque de collision entre certains éléments du groupe de travail et le traîneau arrière.

il peut être difficile de passer les nouvelles traverses dans le tunnel de la tête d'éléphant lorsque le groupe de travail est partiellement lever.

Avant de lever le groupe de travail, s'assurer que les traverses ne vont coincer entre le transporteur et le tunnel de la tête d'éléphant. S'assurer qu'il y a suffisamment de traverses sur les transporteurs NT3 à NT6 afin de terminer le chantier.

Continuer d'avancer de la machine jusqu'à l'extraction de la dernière traverse.

- Lever la roue de dépose

- Lever les cornes de dépose (les cornes de dépose font office de verrouillage de la roue de dépose)

Dans les courbes, les traîneaux se déplacent latéralement par rapport à la roue de dépose. Lors du verrouillage de la roue de dépose il est très important de positionner cette dernière de manière à ce que les doigts de dépose ne touchent pas les traîneaux. Un marquage est apposé sur le côté de la machine pour rappeler ce point important. Une position incorrecte de la roue de dépose peut causer des dommages mécaniques au groupe de travail.

Continuer d'avancer jusqu'à ce que le régaleur se trouve en fin de chantier.

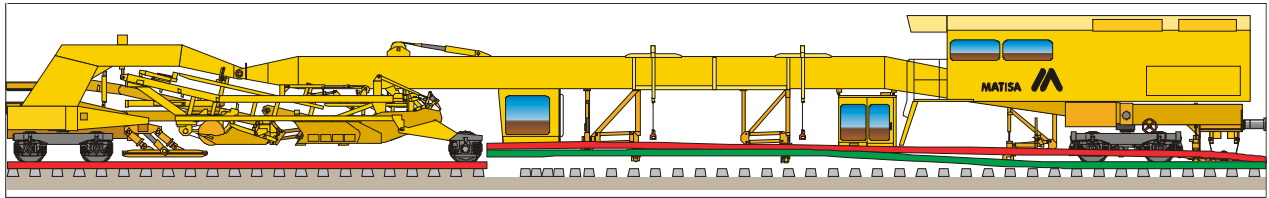
- Lever le régaleur à ballast.
- Verrouiller le régaleur à ballast

Continuer d'avancer jusqu'à ce que la charrue dynamique se trouve à la fin du chantier.

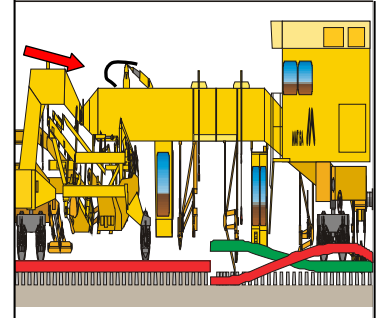
- Arrêter les mouvements de la charrue dynamique.
- Lever la charrue dynamique
- Verrouiller la charrue dynamique

Continuer l'avancement jusqu'à ce que le groupe de pose soit à la fin du chantier.

- Fermer l'articulation du groupe de travail, lever le groupe de pose partiellement.
- poser les traverses restantes en mode manuel
- Verrouiller l'avant du groupe de travail
- Rentrer totalement les vérins de levage de l'avant du groupe de travail.
- Introduire, de chaque côté, l'axe de verrouillage et descendre en appui dans les trous oblongs des bretelles.
- Découpler les potentiomètres de mesure de déplacement vertical et latéral du groupe de travail
- Découpler le vérin de déplacement latéral du groupe de travail.
- Fermer et verrouiller le vérin de déplacement latéral du groupe de travail.
- Lever l'essieu du groupe de travail
- Déverrouiller et ouvrir le verrouillage "travail" de l'essieu du groupe de travail
- Abaisser l'essieu du groupe de travail
- Fermer et verrouiller le verrouillage "travail" de l'essieu du groupe de travail
- verrouiller l'essieu du groupe de travail en position de transport
- Abaisser l'arrière du groupe de travail jusqu'à ce que l'essieu du groupe de travail soit posé sur la voie.



Aussitôt que l'essieu du groupe de travail est posé sur la voie, il est très important de complètement sortir la tige du vérin de levage de l'arrière du groupe de travail, afin de donner du mou au câble de levage du groupe. Durant le transport le groupe de travail se déplace latéralement par rapport au châssis du WF, le câble complètement relâché permet d'accepter la mobilité nécessaire du groupe de travail. La non observation de cette exigence aura pour conséquence le déraillement du groupe de travail.



- Lever complètement le groupe de pose.
- Verrouiller le groupe de pose
- Evacuer les traverses qui se trouvent sur les différents transporteurs, en mode manuel
- Parquer et verrouiller les portiques
- Si nécessaire égaliser le ballast à l'aide de fourches, sur les derniers mètres du chantier.

Continue progress:

- Verrouiller les rouleaux de retenue des rails situés le long du groupe de travail.
- Verrouiller la pince 8
- Régler le travelage des dernières traverses à l'aide du positionneur de traverses installé sur le cadre de la pince 10.

•

Continuer l'avancement du travail jusqu'à ce que les pinces 9 et 10 soient proches de la fin du chantier.

- Verrouiller la pince 9
- Si nécessaire couper les nouveaux rails en utilisant une scie à rail.
- Lever les nouveaux rails en utilisant les outils de levage des rails situés prêt de la pince 10.
- Verrouiller la pince 10
- Positionner les nouveaux rails sur les traverses
- Eclisser les rails provisoirement
- Verrouiller l'outil de levage des rails
- Verrouiller la pince 11
- Verrouiller le tire-rail

•

Continuer l'avancement dès que possible:

- Verrouiller la pince 12
- Verrouiller l'outil d'insertion des attaches Fast-clip
- Verrouiller la roue de mesure du chemin parcouru.

Continuer l'avancement jusqu'à ce le train de renouvellement puisse être préparé pour le transport

- Freiner la machine en utilisant le frein pneumatique
- Freiner la machine en utilisant les freins de stationnement

- Décraboter les bogies
- S'assurer que tous les bogies sont décrabotés.
- Placer la commande du frein en position neutre.
- Mettre en place les protections des vitres
- Enlever tout le ballast de la machine, qui pourrait tomber et endommager la machine durant le transport.
- S'assurer que tous les composants sont verrouillés en utilisant la check-list des verrouillages
- Fermer les bouteilles d'oxygène et d'acétylène.
- Remettre en place tous les outils portables (par exemple: barre à mine, leviers, fourches, etc.)
- Collecter les informations des enregistreurs.
- Couper les alimentations électriques de la machine
- Couper la pression du circuit hydraulique
- Stopper les moteurs thermiques
- Couper l'interrupteur principal de la machines
- Fermer et verrouiller les cabines.

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

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

Tour Pascal B - 92055 LA DEFENSE CEDEX
Tél. + 33 (0) 1 40 81 21 83 - Fax. + 33 (0) 1 40 81 21 50
cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.equipement.gouv.fr