

BEA-TT

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

*Rapport d'enquête technique
sur le déraillement d'un wagon
de combustible nucléaire utilisé
survenu le 23 décembre 2013
dans le triage du Bourget
à Drancy (93)*

juillet 2015



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

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

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

Affaire n° BEATT-2013-013

**Rapport d'enquête technique
sur le déraillement d'un wagon de combustible nucléaire utilisé
survenu le 23 décembre 2013
dans le triage du Bourget à Drancy (93)**

Bordereau documentaire

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

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur le déraillement d'un wagon de combustible nucléaire usé survenu le 23 décembre 2013 dans le triage du Bourget à Drancy (93)

N° ISRN : EQ-BEAT--15-8--FR

Proposition de mots-clés : transport ferroviaire, wagon, triage, aiguillage, marchandise dangereuse

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 et R. 1621-1 à 1621-26 du code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

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

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

SOMMAIRE

GLOSSAIRE.....	9
RÉSUMÉ.....	11
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	13
1.1 - L'accident.....	13
1.2 - La situation après l'accident.....	14
1.3 - Les secours et le bilan.....	15
1.4 - Les mesures prises après l'accident.....	15
1.5 - L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	16
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	17
2.1 - Le triage du Bourget.....	17
2.2 - Le transport du combustible nucléaire utilisé.....	18
2.3 - Le transport concerné par le déraillement.....	20
2.4 - Le type du wagon déraillé.....	20
2.5 - Le branchement trois voies.....	22
3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	25
3.1 - La manœuvre en cause.....	25
3.2 - Les résumés des déclarations et des témoignages.....	25
3.2.1 -Les déclarations de l'agent circulation du poste 2 du triage du Bourget.....	26
3.2.2 -Les déclarations du conducteur de l'engin de manœuvre.....	26
3.2.3 -Les déclarations du freineur du poste de débranchement.....	26
3.2.4 -Les déclarations de l'opérateur de débranchement.....	27
3.3 - L'exploitation des enregistrements.....	27
3.4 - Les constatations immédiates des traces et des dommages en rapport avec le déraillement.....	27
3.4.1 -La position des aiguilles.....	27
3.4.2 -L'identification du point de déraillement.....	28
3.4.3 -Les traces et dommages sur l'infrastructure en aval du point de déraillement.....	28
3.4.4 -Les traces sur les rails en amont du point de déraillement.....	30
3.4.5 -Les traces et dommages sur le wagon.....	31
3.4.6 -Conclusions partielles sur le déroulement du déraillement.....	31
3.5 - L'évaluation de la vitesse de manœuvre.....	32
3.6 - Les investigations portant sur le wagon et son chargement.....	33
3.6.1 -L'historique de la maintenance.....	33
3.6.2 -La vérification des cotes des essieux.....	34
3.6.3 -La vérification de l'état des liaisons et des jeux aux lisoirs.....	34
3.6.4 -La vérification du fonctionnement du frein.....	36
3.6.5 -Le chargement.....	36

3.7 - Les investigations concernant l'infrastructure voie.....	37
3.7.1 -L'historique de la maintenance de la voie	37
3.7.2 -La vérification de la géométrie de l'appareil et de la voie.....	37
3.7.3 -La vérification du tracé de l'itinéraire concerné.....	38
3.8 - Les investigations relatives aux systèmes de commande et de contrôle des aiguilles...39	
3.8.1 -Les systèmes électriques.....	39
3.8.2 -Les systèmes mécaniques.....	39
3.9 - Le retour d'expérience d'événements similaires.....	40
3.9.1 -Le retour d'expérience sur des incidents ayant affecté des wagons de transport nucléaire.....	40
3.9.2 -Le retour d'expérience sur des incidents survenus sur l'aiguille 32 du triage du Bourget.....	40
3.10 - Conclusions partielles.....	41
4 - APPROFONDISSEMENT DES INVESTIGATIONS SUR LES CAUSES DU DÉRAILLEMENT.....	43
4.1 - Les différents scénarios envisageables a priori.....	43
4.1.1 -La manœuvre de l'aiguille 32 sous la circulation.....	43
4.1.2 -Le fouettage d'aiguille.....	43
4.1.3 -La montée de la roue guidante.....	44
4.2 - Approfondissement du scénario de montée de la roue guidante du 3 ^e bogie.....	46
4.2.1 -Les simulations numériques du déraillement.....	46
4.2.2 -La particularité du tracé sécant des branchements de type court.....	46
4.2.3 -L'usure latérale de l'aiguille.....	47
4.2.4 -La déformation de la bielle du dispositif de calage à agrafe.....	48
4.2.5 -Conclusions sur le scénario de déraillement.....	50
5 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT.....	51
6 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES..	53
6.1 - Les causes de l'accident.....	53
6.2 - Les orientations préventives.....	53
ANNEXES.....	55
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	57
Annexe 2 : Relevé des cotes de sécurité des essieux du wagon accidenté.....	59
Annexe 3 : Relevé de la géométrie de la section de voie de service concernée par le déraillement.....	61
Annexe 4 : Relevé des flèches de la section d'itinéraire concernée par le déraillement.....	63
Annexe 5 : Description et principe de fonctionnement des dispositifs de calage à agrafe.....	65

Glossaire

- **AC** : Agent Circulation
- **ASN** : Autorité de Sûreté Nucléaire
- **B3V** : Branchement 3 Voies
- **BS** : Branchement Simple
- **CdV** : Circuit de Voie
- **CG** : Conduite Générale de frein
- **CNPE** : Centrale Nucléaire de Production d'Électricité
- **ECM** : Entité en Charge de la Maintenance
- **PED** : Poste Électronique de Débranchement
- **PUIMD** : Plan d'Urgence Interne Matières Dangereuses
- **RFN** : Réseau Ferré National
- **RFF** : Réseau Ferré de France, gestionnaire du réseau ferré national au moment de l'accident
- **SNCF** : Société Nationale des Chemins de fer Français, entreprise ferroviaire et, au moment de l'accident, gestionnaire délégué du réseau ferré national

Résumé

Le 23 décembre à 16h02, un wagon spécial à quatre bogies chargé de combustible nucléaire usé déraile à faible vitesse au cours d'une manœuvre entre le faisceau de réception et le faisceau de formation du triage du Bourget situé sur le territoire de la commune de Drancy en Seine-Saint-Denis (93).

Le mouvement est aussitôt arrêté et le conducteur de l'engin de manœuvre constate le déraillement des deux bogies arrière de ce wagon. À l'exception des avaries causées à ces organes de roulement, le wagon ne présente pas de dégât apparent.

Informé du déraillement et des matières transportées, l'agent circulation du poste 2 du site du Bourget déclenche le plan d'urgence interne matières dangereuses.

Les pompiers sont avisés à 16h05 et arrivent sur les lieux à 16h58.

À 17h 53, l'équipe spécialisée de la brigade des sapeurs-pompiers de Paris procède aux mesures radiologiques qui ne révèlent pas d'anomalie.

Constatant l'absence de danger, les mesures de confinement sont levées à 18h10.

Au plan de la sûreté nucléaire, l'autorité de sûreté nucléaire a classé cet événement au niveau zéro de l'échelle INES¹.

Ce déraillement est très probablement la conséquence de la montée sur le rail, à la pointe de l'aiguille 32, de la roue n° 9 du wagon concerné qui était la roue guidante de son troisième bogie dans la courbe à droite constituée par cette aiguille. Toutefois, les causes de cette montée de roue ne sont pas établies de façon irréfutable.

S'agissant d'un déraillement sans précédent dû à une conjonction exceptionnelle de facteurs divers et le risque pour les personnes d'un incident similaire étant inexistant, il n'apparaît pas de piste raisonnable pouvant conduire à des recommandations pertinentes visant à en éviter le renouvellement.

Par ailleurs, le BEA-TT prend acte des recommandations que la mission conduite en 2014 par le Conseil général de l'environnement et du développement durable, à la demande du ministre chargé des transports, sur l'état des infrastructures et les modes d'exploitation des triages traitant des wagons de matières dangereuses, a formulées concernant la gestion, en termes d'alerte et de levée de doute, des incidents qui peuvent y affecter ces wagons.

1 L'échelle INES (International Nuclear Event Scale) comporte 8 niveaux classés de 0 à 7. Le niveau 0 reprend les événements « *n'ayant aucune importance du point de vue de la sûreté* ».

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - L'accident

Le 23 décembre à 16h02, un wagon spécial à quatre bogies chargé de combustible nucléaire usé déraille à faible vitesse au cours d'une manœuvre entre le faisceau de réception et le faisceau de formation du triage du Bourget situé sur le territoire de la commune de Drancy en Seine-Saint-Denis (93).

Le mouvement est aussitôt arrêté et le conducteur de l'engin de manœuvre constate le déraillement des deux bogies arrière de ce wagon. À l'exception des avaries causées à ces organes de roulement, le wagon ne présente pas de dégât apparent.

Informé du déraillement et des matières transportées, l'agent circulation (AC) du poste 2 du site du Bourget déclenche le plan d'urgence interne matières dangereuses (PUIMD).



Figure 1 : Vue du parcours de la manœuvre



Figure 2 : Vue de la manœuvre immobilisée après le déraillement



Figure 3 : Gros plan sur les codes matières dangereuses portés par le wagon
 – Code danger 70 : radioactivité
 – Code matière 3331 : matières radioactives fissiles transportées sous arrangement spécial

1.2 - La situation après l'accident

Le wagon et l'engin de manœuvre sont immobilisés à l'entrée du faisceau de formation, sur le frein de voie primaire n° 4. Les deux bogies arrière du wagon sont déraillés d'environ 30 cm vers la gauche.

La voie est détériorée sur 50 m environ depuis la pointe de l'aiguille 32 jusqu'au point d'arrêt du wagon.

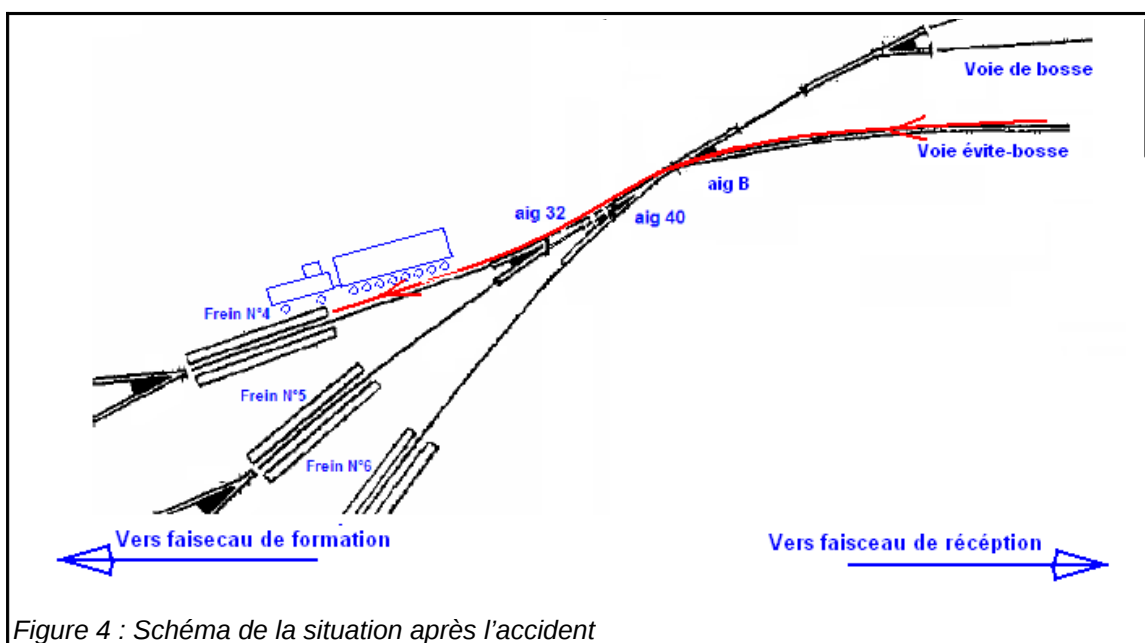


Figure 4 : Schéma de la situation après l'accident

Les aiguilles B, 40 et 32 donnent la direction de droite ce qui est la position normale pour l'itinéraire de la manœuvre concernée.

1.3 - Les secours et le bilan

Dès qu'il est informé du déraillement et de l'implication d'un wagon de transport de matières dangereuses, l'agent circulation du poste 2 du triage du Bourget met en œuvre les mesures prévues au plan d'urgence interne matières dangereuses.

Les pompiers sont avisés à 16h05 et arrivent sur les lieux à 16h58.

À 17h 53, l'équipe spécialisée de la brigade des sapeurs-pompiers de Paris procède aux mesures radiologiques qui ne révèlent pas d'anomalie.

Constatant l'absence de danger, les mesures de confinement sont levées à 18h10.

Le bilan de l'accident est très limité.

Sur le plan de la sûreté nucléaire, l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) a classé l'événement au niveau zéro de l'échelle INES².

Sur le plan matériel :

- les dommages au wagon concernent essentiellement les quatre essieux arrière et la suspension du bogie n° 3 ;
- la voie est détériorée sur une cinquantaine de mètres incluant les demi-aiguillages du branchement 32 qui doivent être changés.

Pour ce qui concerne l'exploitation, la moitié sud du faisceau de formation est inutilisable.

1.4 - Les mesures prises après l'accident

La zone concernée par l'accident est neutralisée pour permettre l'intervention des secours, puis la réalisation des constatations immédiates dans le cadre des différentes enquêtes et expertises.

Le relevage du wagon a lieu dans la nuit du 23 au 24 décembre 2013 et il est acheminé à faible vitesse vers une voie de garage du poste d'entretien du matériel où il est stationné sous surveillance en attente de son déchargement.

Le transbordement du chargement a lieu le 27 décembre 2013 sur un nouveau wagon qui quitte le triage du Bourget le soir même.

Le 16 janvier 2014, le wagon accidenté est levé, expertisé et placé sur de nouveaux bogies. Il est ensuite expédié vers les établissements Lormafer à Creutzwald pour réparation.

Une fois les constats sur le terrain terminés, la réparation des voies est autorisée à partir du 30 décembre 2013. Les demi-aiguillages du branchement simple (BS) 32 sont conservés sur place pour les éventuels besoins des enquêtes.

L'ensemble des voies est rendu à l'exploitation le 3 janvier 2014.

² L'échelle INES (International Nuclear Event Scale) comporte 8 niveaux classés de 0 à 7. Le niveau 0 reprend les événements « *n'ayant aucune importance du point de vue de la sûreté* ».

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

À la demande du ministre chargé des transports, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 23 décembre 2013 une enquête technique en application des articles L. 1621-1 à L. 1622-2 du code des transports.

L'enquêteur du BEA-TT a eu communication des pièces de l'enquête préliminaire diligentée par le procureur de la République près le tribunal de grande instance de Bobigny ainsi que des rapports d'intervention de la brigade des sapeurs-pompiers de Paris.

Il s'est notamment rendu sur les lieux de l'accident pour examiner la voie et les appareils, puis au poste d'entretien du Bourget pour examiner le wagon accidenté et au Poste 2 du triage pour y rencontrer les opérateurs du poste de débranchement.

En lien avec l'expert de justice désigné, il a participé à l'expertise du wagon lors de son levage le 16 janvier 2014, à une reconstitution de la manœuvre avec le même locotracteur et le même conducteur le 28 janvier et à une reconstitution des opérations de chargement et de déchargement le 5 mars sur le site d'AREVA de Valognes.

2 - Contexte de l'accident

2.1 - Le triage du Bourget

Le triage du Bourget est, avec ceux de Woippy (Metz), Sibelin (Lyon) et Miramas (Marseille), l'un des quatre triages principaux du réseau ferré national sur lesquels est articulé l'ensemble du plan de transport multi-lots-multi-clients³ de la SNCF*.

Il est situé à 11 km de Paris, sur la ligne de Paris-Nord à Ormoy-Villers, à proximité de la ligne de la grande ceinture.

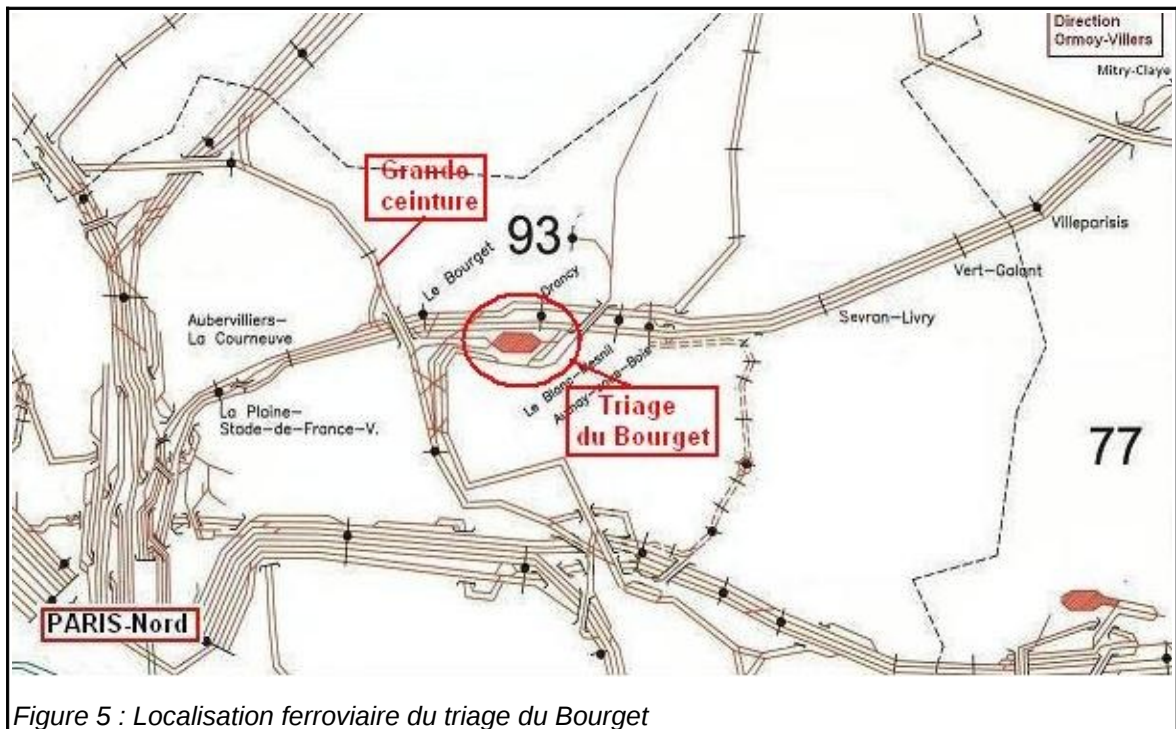


Figure 5 : Localisation ferroviaire du triage du Bourget

Il s'étend sur plus de 3 km de long et couvre une surface de plus de 100 ha dans une zone très urbanisée située sur les territoires des communes de Drancy, Le Bourget et Le Blanc-Mesnil.



Figure 6 : Insertion urbaine du triage du Bourget

Il comporte un faisceau de réception de 16 voies et un faisceau de formation de 48 voies.

³ Multi-lots-multi-clients (MLMC) est l'appellation officielle du système d'acheminement des wagons isolés de la SNCF, anciennement appelé « *lotissement* ».

* Terme figurant dans le glossaire

Le tri des wagons s'effectue « à la gravité » sur deux bosses de débranchement similaires. Chaque voie de bosse est doublée par une voie « évite-bosse » empruntée par les véhicules dont le passage à la bosse est interdit.

Au droit des freins de voie, se trouve le bâtiment du poste 2 qui contient en fait deux postes d'aiguillage :

- le poste 2 proprement dit qui comporte deux tables :
 - une table de type ASTER qui couvre les voies principales et les voies de circulation,
 - une table de type PMV que couvre le faisceau de réception ;
- le poste électrique de débranchement (PED) qui commande les aiguilles de débranchement qui distribuent les wagons sur les 48 voies du faisceau de formation ainsi que les freins de voie qui permettent de réduire la vitesse des wagons en fonction de la longueur disponible sur la voie de destination.

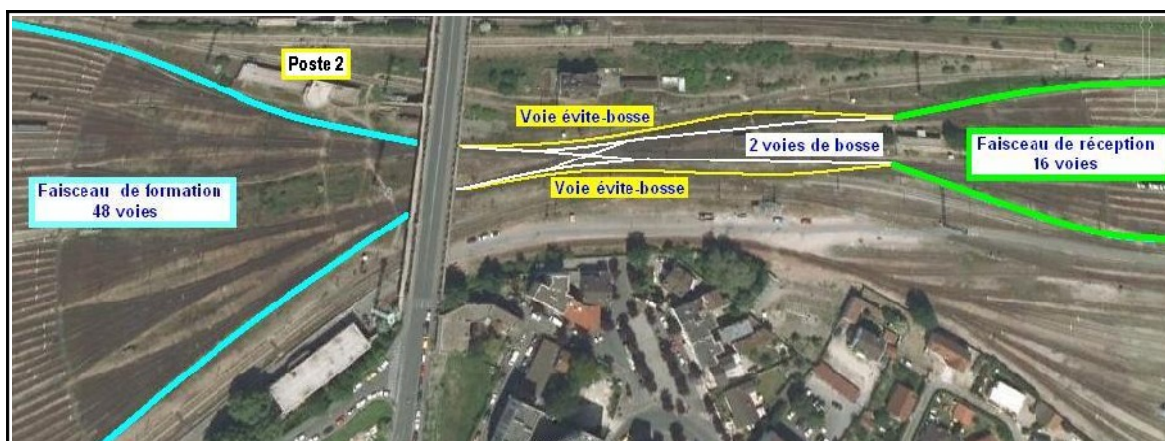


Figure 7 : Schéma de principe du triage du Bourget

Le trafic du triage du Bourget est d'environ 400 wagons par jour dont 20 % de wagons de matières dangereuses.

2.2 - Le transport du combustible nucléaire utilisé

Le transport du combustible nucléaire utilisé entre les centrales électriques françaises et le site de retraitement de la Hague s'effectue majoritairement par la voie ferroviaire et représente un trafic de 200 wagons chargés par an. L'acheminement de ces wagons s'effectue, pour l'essentiel, dans des trains du lotissement ce qui implique que ces wagons transitent par les gares de triage.

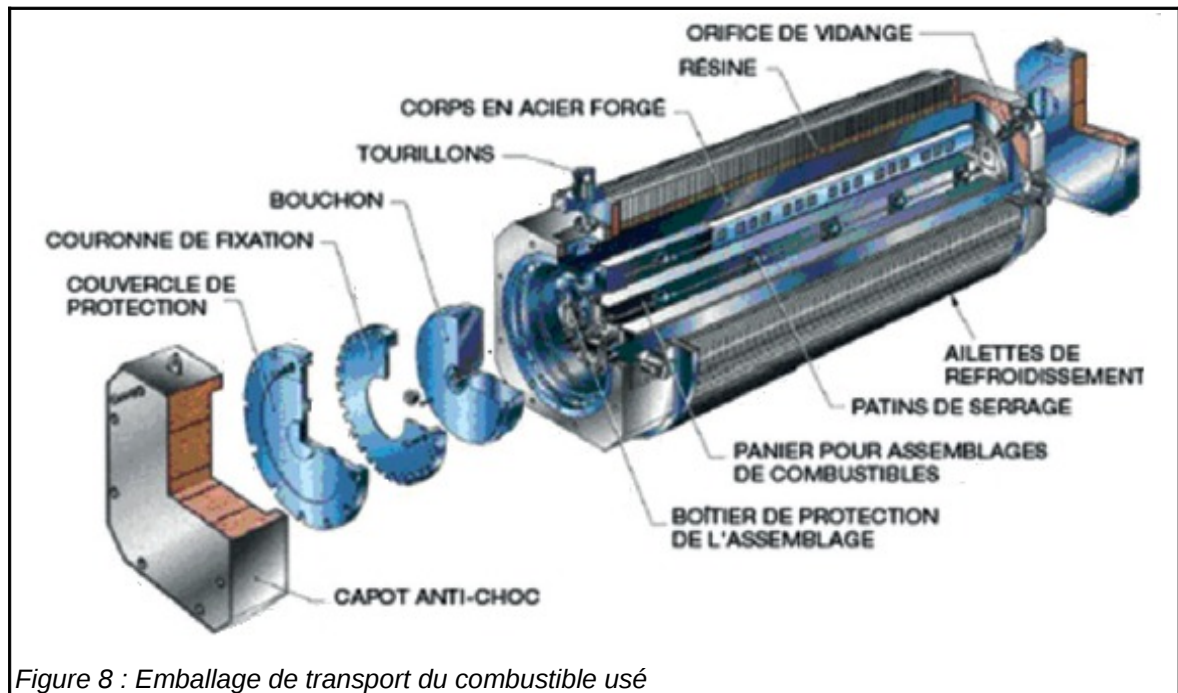
Dans ce cadre, les envois de la centrale de Nogent-sur-Seine, d'où provenait le wagon impliqué dans le déraillement, représentent une dizaine de wagons chargés par an.

Le triage du Bourget, outre les wagons de combustible utilisé provenant de Nogent-sur-Seine, traite également ceux provenant des autres centrales situées dans l'est de la France. Annuellement, transitent dans ce triage, environ 60 wagons chargés de combustible nucléaire auxquels s'ajoute un nombre équivalent de wagons vides.

Le combustible utilisé est transporté dans des emballages spéciaux conçus pour :

- protéger l'environnement contre les rayonnements radioactifs ;
- évacuer la chaleur produite par ce combustible ;
- résister aux accidents qui pourraient intervenir pendant le transport.

Pour ce qui concerne leur résistance aux chocs, les emballages sont soumis à des essais d'homologation incluant notamment des essais de poinçonnement et des chutes libres de 9 m de hauteur, correspondant à des chocs à 48 km/h contre une surface indéformable.

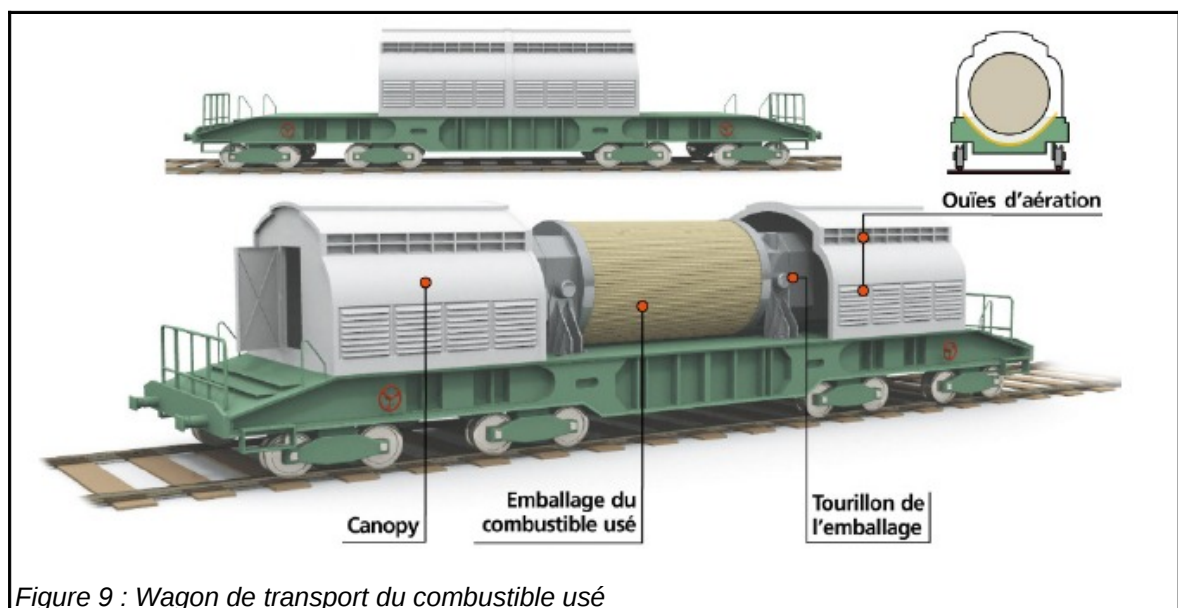


La masse de ces emballages est d'environ 115 tonnes en charge. Ils nécessitent donc, pour leur transport, l'utilisation de wagons spécialement conçus.

Ces wagons doivent être aptes à acheminer une telle masse indivisible sans dépasser la charge maximale admise sur le réseau ferré national qui est de 22,5 t par essieu.

Ils sont équipés de chevalets sur lesquels viennent se positionner les tourillons de l'emballage, assurant ainsi son centrage et son arrimage.

Ils sont dotés de deux capots coulissants, appelés « canopys », qui s'écartent pour permettre le chargement ou le déchargement de l'emballage. Pendant le transport, ces canopys sont accolés et verrouillés pour protéger le colis.



2.3 - Le transport concerné par le déraillement

Le transport NOG 1 consistait à acheminer un chargement de combustible nucléaire usé entre la centrale de Nogent-sur-Seine et l'usine de retraitement de La Hague.

Le chargement était constitué de 12 assemblages de combustible placés dans un emballage de type TN 13/2. Ce type d'emballage comportant 12 alvéoles, il était donc plein.

Le trajet comportait trois étapes ferroviaires :

- Nogent-sur-Seine – Triage du Bourget ;
- Triage du Bourget – Triage de Sotteville ;
- Triage de Sotteville – Valognes.

Il s'achevait par un transfert par route entre le terminal ferroviaire de Valognes et l'usine de la Hague.

Sur le site de la centrale de Nogent-sur-Seine, l'emballage chargé avait été placé sur un wagon spécial.

Le train n° 454646 acheminant ce wagon a été reçu sur la voie 8 du faisceau de réception du Bourget le 23 décembre 2013 à 14h42.

Le wagon devait repartir à 23h04 dans le train n° 56001 à destination de Sotteville. Ne pouvant pas être trié à la gravité, ce wagon spécial doit être tiré par un engin moteur pour être positionné sur la voie de départ de son train.

C'est au cours de cette manœuvre qu'a eu lieu le déraillement.

2.4 - Le type du wagon déraillé

Le véhicule déraillé appartient à la série Q76 composée de wagons destinés uniquement au transport du combustible nucléaire usé conditionné dans des emballages spéciaux.

Onze wagons de ce type ont été construits entre 2000 et 2008 par Arbel-Fauvet-Rail. Ils appartiennent tous à la société Trans-Nucléaire International (TNI), filiale du groupe AREVA.

Portant le n° 83 87 994 5110-2, le wagon déraillé est le dernier élément de la série. Il a été mis en service le 15 mai 2008.



Figure 10 : Vue d'ensemble d'un wagon de type Q76

Les principales caractéristiques des wagons de la série concernée sont les suivantes :

Longueur	22,500 m
Tare	56,500 t
Masse maximale en charge	180,00 t
Vitesse maximale	100 km /h
Rayon minimal franchissable	75 m
Tri à la gravité	Interdit

Ces wagons présentent une structure articulée. Leur châssis principal qui supporte la charge utile repose sur deux châssis intermédiaires, chacun doté de deux bogies.

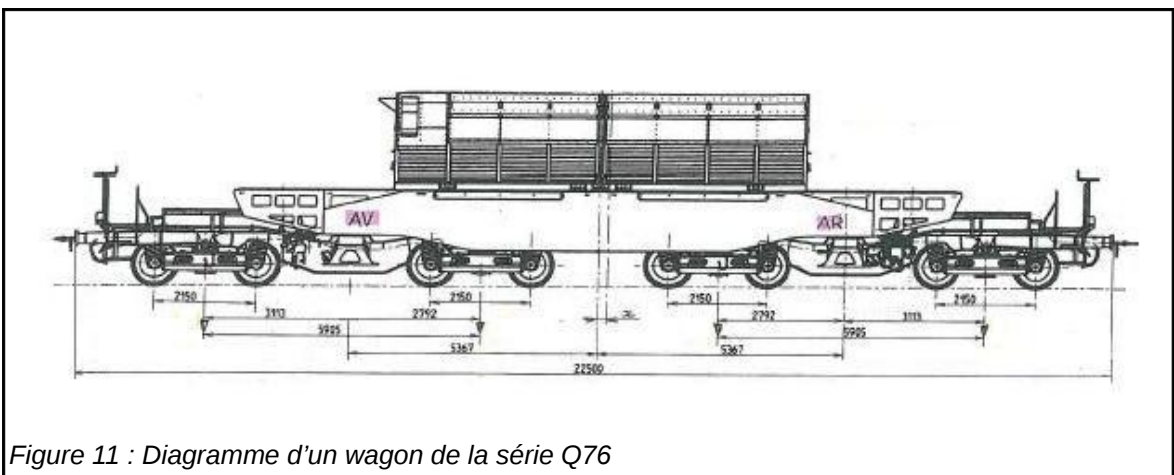
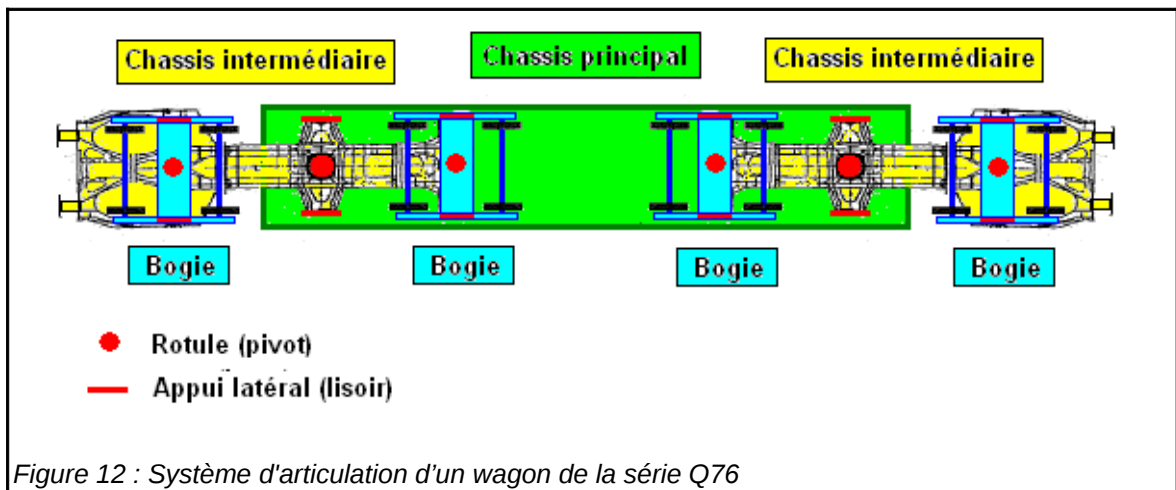


Figure 11 : Diagramme d'un wagon de la série Q76

Les degrés de liberté entre le châssis principal et les châssis intermédiaires et entre les châssis intermédiaires et les bogies sont donnés par un système de rotules garnies de matière synthétique et d'appuis latéraux élastiques en acier.



Cette structure articulée est semblable à celle des wagons de type Q70 qui constituent la première génération des wagons de transport de combustible nucléaire et qui sont en service depuis 1977.

Elle vise à conférer à ces wagons des caractéristiques statiques et dynamiques proches de celles des wagons classiques à deux bogies afin de permettre leur incorporation sans restriction dans les trains du lotissement.

Toutefois, elle induit un couplage des mouvements des deux châssis intermédiaires et elle conduit à une hauteur du centre de gravité en charge, sensiblement supérieure à celle des wagons classiques.

L'autorisation de mise en exploitation commerciale des wagons du type Q76 a été délivrée le 19 juin 2000 et confirmée le 4 janvier 2007 conformément aux procédures en vigueur. Dans ce cadre, il a été procédé avec succès aux essais et aux mesures prescrits pour les wagons classiques notamment :

- les essais d'aptitude au franchissement des gauches de voie ;
- les essais de refoulement sous forte compression ;
- les mesures des couples de rotation des bogies.

À la lecture du dossier d'homologation, on remarque que les couples de rotation des bogies ont montré une tendance à augmenter avec le parcours, puis se sont stabilisés à un niveau relativement élevé. Une mesure effectuée à vide, après 61 000 km, a montré, sur un bogie, un couple de 30,5 kN.m proche du maximum spécifié qui est de 32 kN.m.

Par ailleurs, aucune exigence concernant les valeurs des couples de rotation des châssis intermédiaires ne figure dans la STM R 701⁴, en vigueur à l'époque. Aucune mesure n'a donc été demandée dans le cadre de la procédure d'homologation.

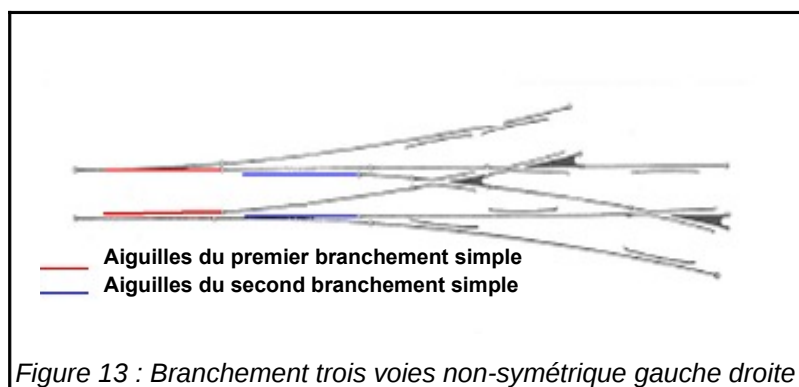
2.5 - Le branchement trois voies

Les constatations immédiates permettent, sans ambiguïté, d'affirmer que le déraillement a pris naissance sur l'appareil n° 32/40.

Il s'agit d'un branchement 3 voies (B3V) non-symétrique constitué de deux branchements simples (BS) successifs enchevêtrés, d'abord à gauche puis à droite.

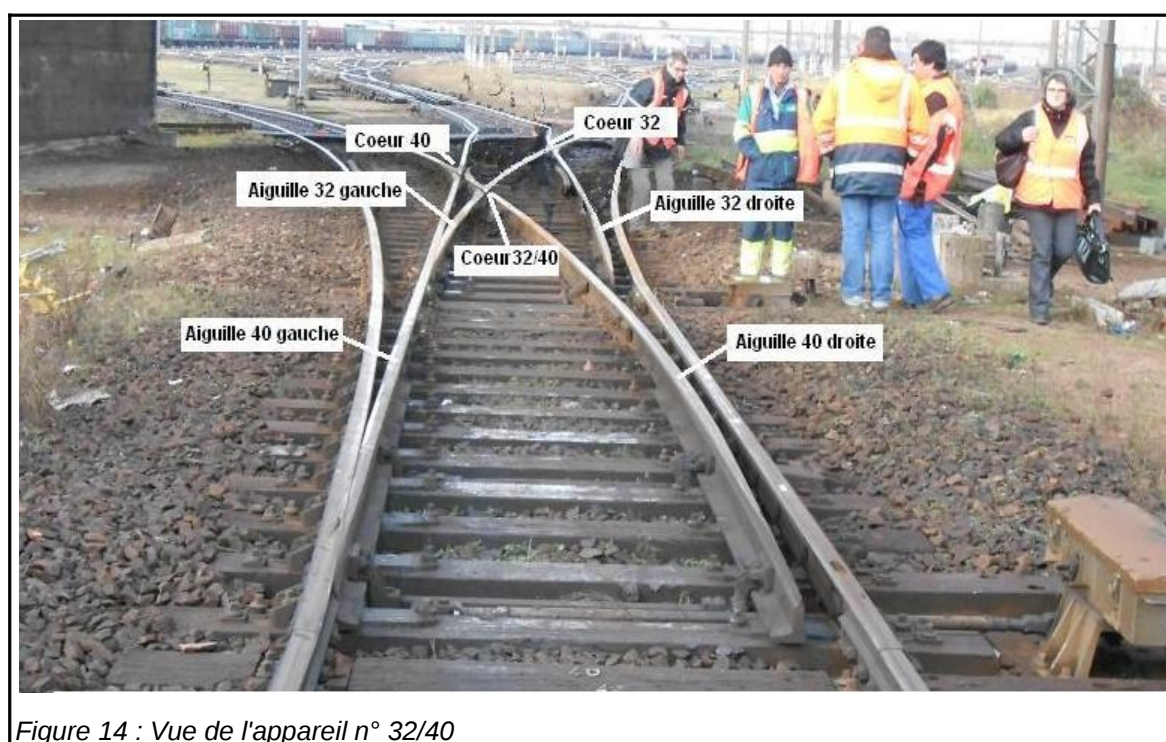
4 Spécification technique du matériel R 701 relative aux couples de rotation Bogie – Caisse

Ce type d'appareil est assez courant notamment dans les triages et autres faisceaux de voies de service. Il comporte 3 cœurs et 2 paires d'aiguilles.



En l'occurrence, l'appareil n° 32/40 est formé successivement du branchement 40 à déviation à gauche et du branchement 32 à déviation à droite. Ces deux branchements présentent une tangente de 0,13 radian.

La figure ci-après représente le branchement trois voies n° 32/40 tel qu'il était disposé, lors de l'accident. Il donne la direction de la voie 32.



3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - La manœuvre en cause

Les wagons spéciaux de transport de combustible nucléaire usé n'étant pas « aptes à passer à la bosse », la manœuvre consiste à tirer avec un locotracteur le wagon stationnant sur la voie 8 du faisceau de réception pour l'amener en tête du faisceau de formation en passant par la voie évite-bosse B, puis la voie 32.

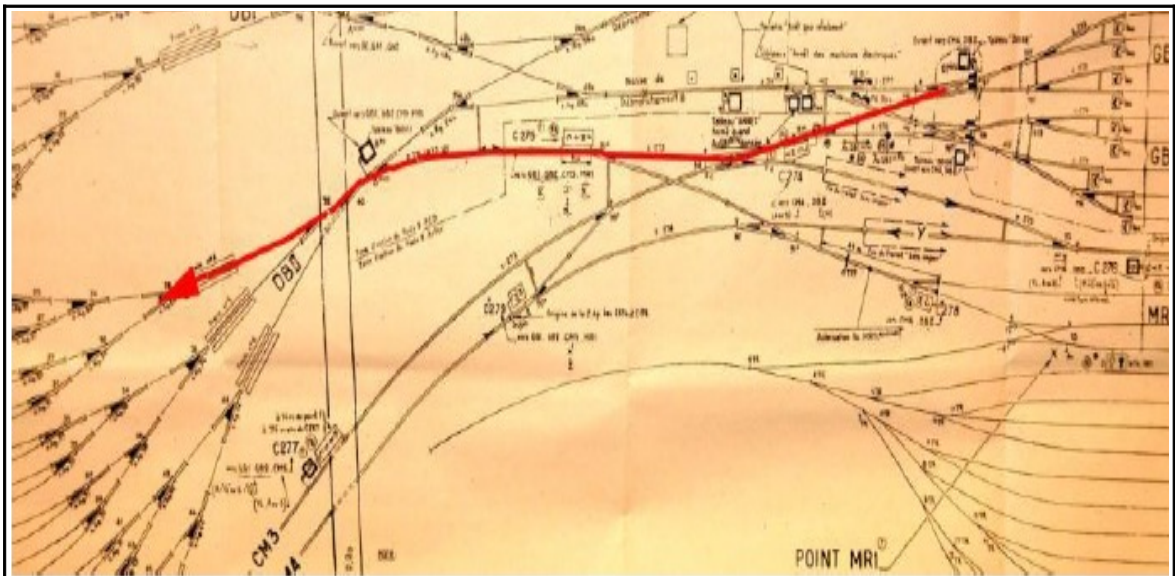


Figure 15 : Extrait du plan de signalisation

Les agents impliqués dans cette manœuvre sont les suivants :

- l'agent-circulation (AC) du poste 2 du triage concerné dont la zone d'action couvre notamment le faisceau de réception et les voies évite-bosse ;
- le freineur qui pilote le poste électronique de débranchement (PED) dont la zone d'action couvre le faisceau de formation et notamment les aiguilles B, 32 et 40. Il assure également le rôle de chef de manœuvre dans la zone du poste 2 ;
- le conducteur du locotracteur qui effectue les mouvements commandés par le chef de manœuvre avec lequel il est en liaison radio ;
- l'agent de manœuvre qui a réalisé l'attelage entre le locotracteur et le wagon.

Par ailleurs l'opérateur débranchement, présent derrière le freineur, bien que non impliqué dans la manœuvre, a été témoin du déraillement.

3.2 - Les résumés des déclarations et des témoignages

Les résumés présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations et des témoignages dont ils ont eu connaissance, en retenant les éléments qui paraissent utiles à la compréhension des événements. Il peut donc y avoir des divergences entre les différents témoignages, ou avec des constats présentés par ailleurs, ou avec la description des faits retenue par les enquêteurs telle qu'elle apparaît au chapitre 5.

3.2.1 - Les déclarations de l'agent circulation du poste 2 du triage du Bourget

À la demande du freineur, l'agent trace l'itinéraire pour une manœuvre en direction de la voie 8 réception.

Après que le wagon situé voie 8 a été attelé au locotracteur, le freineur lui demande d'établir l'itinéraire de la voie 8 vers le faisceau formation (DB II).⁵

L'agent circulation forme l'itinéraire demandé.

Au passage de la manœuvre, le wagon déraile au niveau de l'appareil de voie n° 32/40.

Sachant qu'il était en présence d'un wagon de marchandises dangereuses, l'agent circulation applique les mesures du plan d'urgence interne qui le concernent.

3.2.2 - Les déclarations du conducteur de l'engin de manœuvre

Ayant reçu, de la part du freineur, l'ordre d'aller tirer un wagon situé sur la voie 8 réception, le conducteur positionne son engin sur ce wagon « côté Paris ».

Après que l'agent de manœuvre a réalisé l'attelage et raccordé la conduite générale de frein (CG), le conducteur alimente cette conduite et attend que la pression atteigne 5 bar afin de desserrer les freins du wagon.

Le signal C 274 ayant été ouvert, le conducteur est informé par le freineur qu'il aura à tirer le wagon concerné vers la tête du faisceau formation par la voie 32.

L'engin étant sur le petit régime⁶, la pression CG étant à 5 bar, le conducteur essaie de tractionner mais ressent une résistance importante du wagon. Il arrête de tractionner et attend quelques instants supplémentaires pour permettre aux freins de se desserrer complètement.

Au deuxième essai, le wagon se met en mouvement, le conducteur annonce alors au poste qu'il est prêt.

Le freineur l'informe de nouveau qu'il va évoluer vers la tête du faisceau formation via la voie évite-bosse et la voie 32 et lui donne l'ordre de tirer.

Le conducteur met en mouvement son convoi.

Circulant à 20 km/h environ, il ressent soudain une résistance de son convoi et s'arrête.

Il constate alors que l'arrière du wagon a déraillé.

3.2.3 - Les déclarations du freineur du poste de débranchement

L'agent envoie d'abord le locotracteur à la voie 8 réception pour manœuvrer le wagon de transport nucléaire.

Il demande ensuite l'ouverture de la voie évite-bosse à l'agent circulation. Ayant obtenu l'autorisation, il commande la manœuvre pour la voie 32 en direction du poste B.

5 Le faisceau formation est divisé en deux groupes de 24 voies, le groupe DB I correspondant aux voies 1 à 24 et le groupe DB II correspondant aux voies 25 à 48.

6 Les locotracteurs Y 8000 disposent de deux régimes de traction. Le petit régime, limité à 30 km/h est utilisé pour la manœuvre. Le grand régime, limité à 60 km/h pour la circulation en ligne.

Il précise avoir assuré l'itinéraire en stabilisant⁷ les aiguilles afin d'assurer la direction de la voie 32 de manière certaine.

L'agent certifie également n'avoir actionné aucune commande après avoir ordonné le mouvement du locotracteur.

3.2.4 - Les déclarations de l'opérateur de débranchement

Lors de la circulation de la manœuvre en cause, cet agent constate le déraillement sous le pont routier et l'arrêt du locotracteur au niveau du pont frein n° 4.

3.3 - L'exploitation des enregistrements

La réglementation nationale n'impose pas la présence d'enregistreurs à bord des locotraceurs, ni dans les postes d'aiguillage.

Toutefois, étant équipé d'un automate, le poste électronique de débranchement (PED) dispose d'un archivage automatique des mouvements des aiguilles et des anomalies.

L'archive du 23 décembre 2013 ne fait pas apparaître d'anomalie dans la commande des aiguilles ou dans leur fonctionnement.

Elle comporte l'indication suivante : « 16h 01mn 35s : aig.32 lente, position précédente D »

Cette indication traduit le décollement de l'aiguille 32 à partir de la position « à droite » sous l'effet d'efforts anormaux exercés sur celle-ci.

3.4 - Les constatations immédiates des traces et des dommages en rapport avec le déraillement

3.4.1 - La position des aiguilles

Les aiguilles des branchements B, 40 et 32 donnent la direction de droite ce qui est conforme à l'itinéraire tracé pour la manœuvre.

Le système de calage de l'aiguille 32 est détérioré, sa bielle étant tordue.

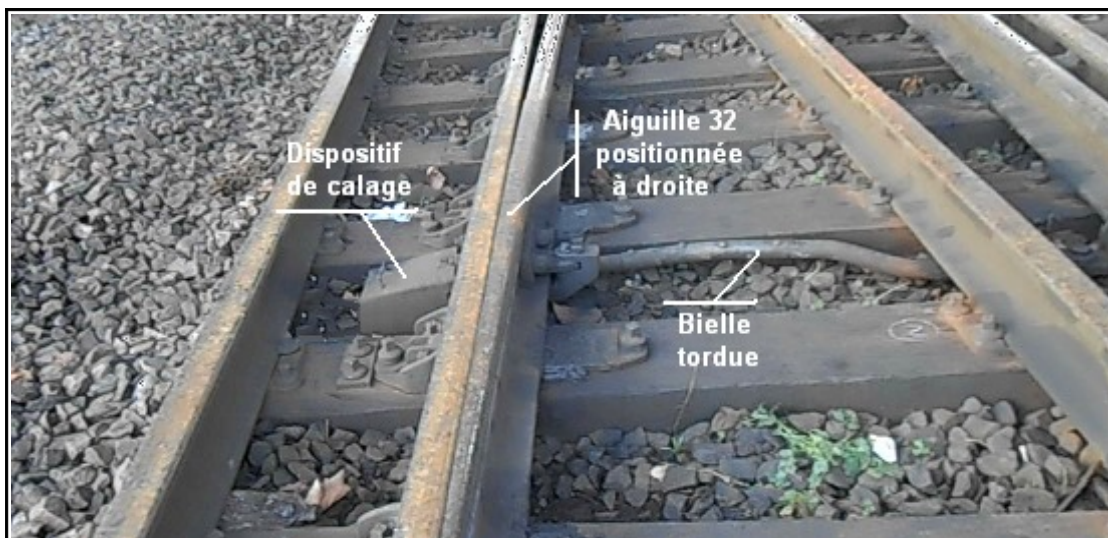


Figure 16 : Système de calage avec sa bielle de raccord

⁷ Une commande stabilisée interdit toute autre commande des aiguillages concernés.

3.4.2 - L'identification du point de déraillement

Les premières marques de chute du ou des essieux déraillés sont visibles sur les entretoises de talon d'aiguille du branchement 32 au niveau de la 12^e traverse de l'appareil.



Figure 17 : Premières traces d'impact sur les entretoises de talon de l'aiguille 32

Immédiatement en amont du point de chute, on observe des traces de frottement sur les faces internes des aiguilles droite et gauche. En revanche, on ne voit pas de trace permettant d'identifier un mécanisme de déraillement, soit par montée de boudin sur le rail, soit par enfourchement des aiguilles.

3.4.3 - Les traces et dommages sur l'infrastructure en aval du point de déraillement

À partir de ces premières marques, de nombreuses traces permettent de jalonner le cheminement du ou des essieux déraillés.

Au niveau de l'about du cœur de croisement du branchement 40, une double trace bien marquée permet d'affirmer, qu'à cet endroit, deux essieux étaient déjà déraillés.

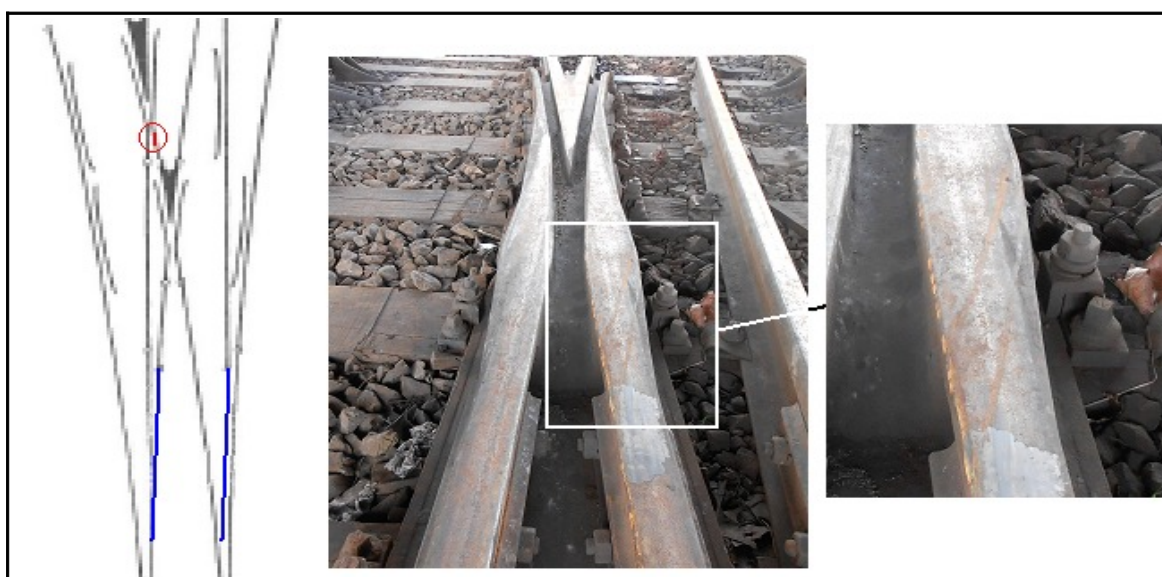


Figure 18 : Double trace sur l'about du cœur du branchement 40

Après le cœur de croisement du branchement 32 et jusqu'au passage planchéié, on observe nettement deux traces sur les traverses indiquant qu'à ce niveau, deux essieux seulement sont déraillés.

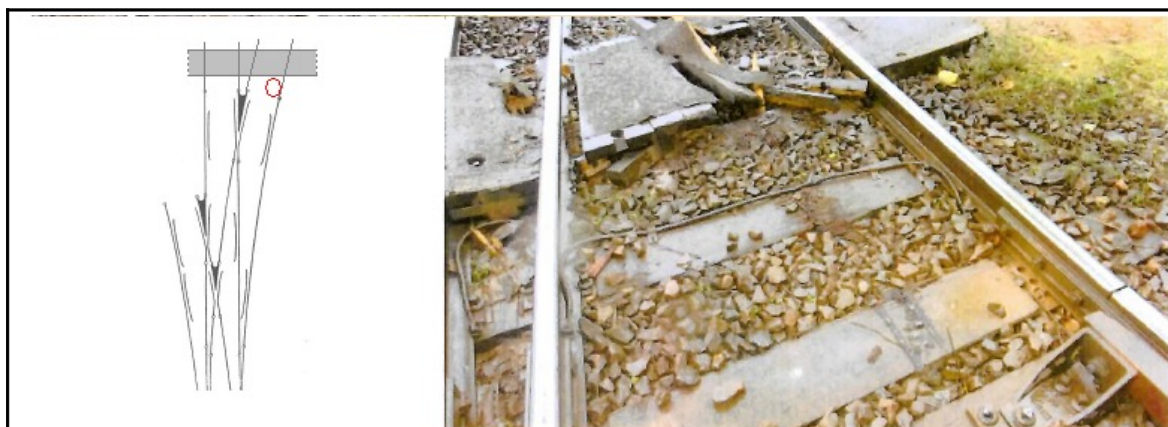


Figure 19 : Double trace en amont du passage planchéié

Au niveau du passage planchéié, une nouvelle série de traces apparaît.

En effet, sur ce passage, on observe non seulement des dommages dans le prolongement des traces évoquées plus haut, mais aussi des dommages qui apparaissent à partir du milieu du passage, sans être précédés par des traces en amont, mais qui se poursuivent par des traces en aval.

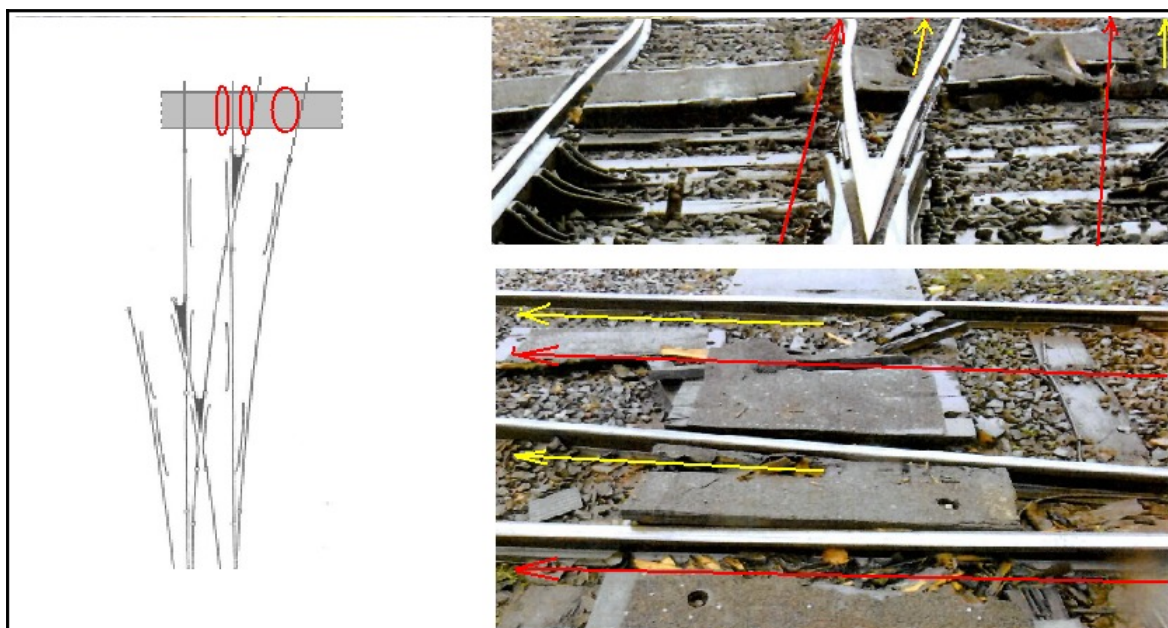


Figure 20 : Traces et dommages sur le passage planchéié

Au-delà de passage planchéié, la voie de gauche présente une déformation importante et localisée. En amont de ce point, les traces sur les traverses sont visibles à l'intérieur du rail droit. En aval, elles sont à l'extérieur de ce rail, puis s'en écartent.

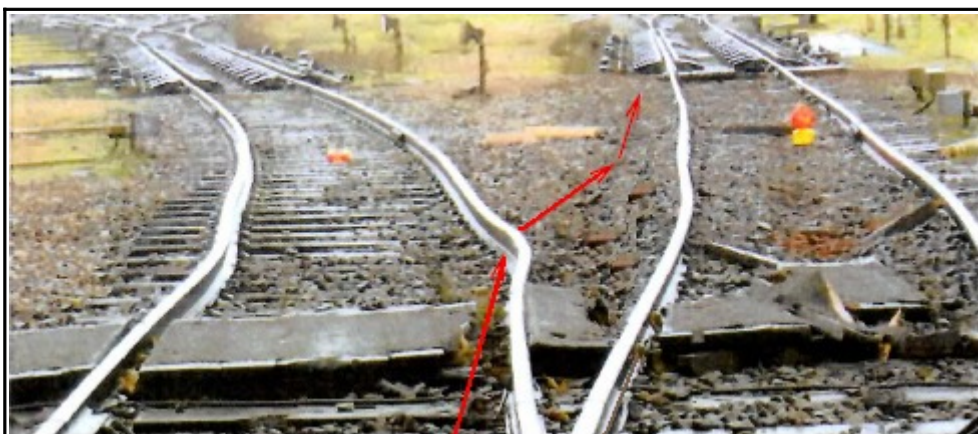


Figure 21 : Déformation de la voie de gauche

3.4.4 - Les traces sur les rails en amont du point de déraillement

Au niveau du branchement 40 et en amont, sur le branchement B et la voie évite-bosse, on observe, sur les deux files de rail, des traces pointillées.

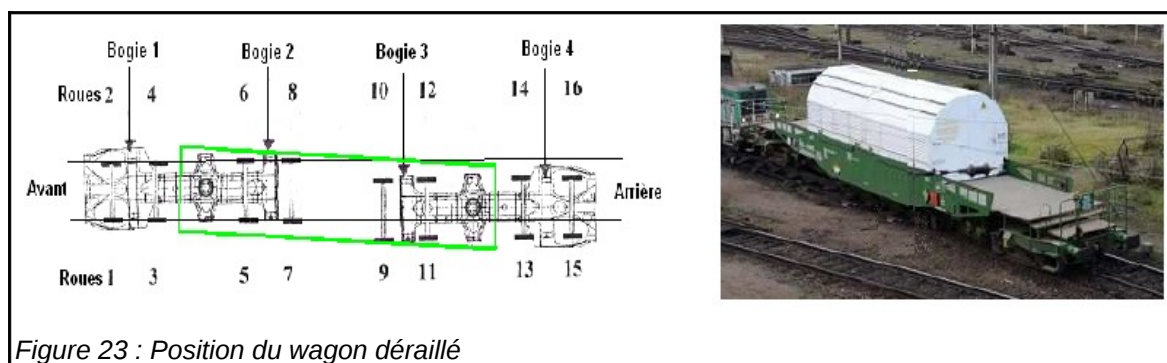


Figure 22 : Pointillés au niveau de la pointe du branchement B

L'origine de ces traces n'est pas connue avec certitude. Le BEA-TT estime qu'il s'agit soit de traces de broutage, caractéristiques des locotracteurs Y 8000 en traction, soit de traces de roulement d'un bogie circulant avec un angle de braquage non nul.

3.4.5 - Les traces et dommages sur le wagon

Les bogies 3 et 4 sont déraillés à environ 30 cm à gauche de la voie.



Le châssis principal portant le chargement de même que les canopys qui le protègent ne sont pas endommagés. Il en est de même du demi-châssis avant et de ses deux bogies.

Le demi-châssis arrière présente quelques traces de chocs, mais c'est au niveau des bogies que se trouve l'essentiel des dégâts.

Le bogie 3 est le plus fortement endommagé. Notamment, l'essieu 11-12 est désolidarisé du bogie, ses agrafes de liaison étant arrachées et les ressorts de suspension sortis de leur logement.

Sur les essieux de ce bogie, les tables de roulement sont fortement marquées, et les boudins des roues 9 et 11 portent des traces de chocs violents.



Figure 24 : Dommages sur l'essieu 11-12

Le bogie 4 est moins gravement endommagé. Les deux essieux sont restés en place et les tables de roulement des roues sont moins marquées que celles des roues du bogie 3.

3.4.6 - Conclusions partielles sur le déroulement du déraillement

Au vu des dommages constatés sur le bogie 3 et des marques sur ses essieux, il est clair que ce bogie a déraillé en premier.

Le déroulement est donc le suivant.

- un premier essieu déraile peu avant le talon de l'aiguille 32. La roue gauche tombe entre l'aiguille et le contre-aiguille gauche et la roue droite entre l'aiguille et le contre-aiguille droit. Il y a ainsi « enfourchement d'aiguilles » ;

- avant le cœur de l'aiguille 40, les deux essieux du bogie 3 sont déraillés. Les roues cheminent à gauche de leur rail à une distance de 30 à 50 cm en laissant des traces sur les traverses et en endommageant les différentes pièces de l'armement de la voie ;
- au niveau du cœur de l'aiguille 32, les roues 9 et 11 suivent la voie de gauche alors que l'avant du wagon suit la voie de droite ;
- soumises à des efforts latéraux importants, les roues 9 et 11 finissent par escalader le rail droit de la voie de gauche et retombent dans l'entrevoie ;
- le bogie 4 qui se trouve alors à la hauteur du passage planchéié, se soulève sous l'effet des réactions dynamiques et déraille de ses deux essieux, l'essieu arrière retombant sur le platelage ;
- le convoi roule encore une trentaine de mètres avant de s'immobiliser.

En revanche, les causes et le mécanisme de l'enfourchement ne sont pas établis à ce stade.

3.5 - L'évaluation de la vitesse de manœuvre

Sur le réseau ferré national, la vitesse des manœuvres est réglementairement limitée à 30 km/h. Sur le site du Bourget les consignes de manœuvre n'imposent pas de limitation plus restrictive.

Compte tenu du caractère sinueux de l'itinéraire de la manœuvre, notamment à hauteur des aiguilles B, 40 et 32, un éventuel dépassement de la vitesse limite aurait pu être une des causes du déraillement.

Bien que le conducteur du locotracteur affirme avoir circulé à 20 km/h au moment de l'accident, il a été procédé à une reconstitution de la manœuvre afin de vérifier ses dires.

Cette reconstitution a été réalisée le 27 janvier 2014 avec le même conducteur, le même engin et deux wagons chargés totalisant une masse de 145 tonnes, proche de celle de 173 tonnes du wagon déraillé. Elle a été effectuée sur le même itinéraire et en partant du même endroit.

Le locotracteur étant orienté avec son petit capot en avant, le conducteur a l'indicateur de vitesse derrière lui. Il ne le surveille donc vraiment que dans des cas particuliers. Le reste du temps, l'évaluation de la vitesse repose donc essentiellement sur son ressenti.

Lors du premier essai, le conducteur avait pour consigne de reproduire aussi fidèlement que possible la manœuvre effectuée le 23 décembre 2013. Il a ainsi tractionné énergiquement atteignant la vitesse de 20 km/h à hauteur du signal C 275. Il a ensuite coupé la traction et du fait de la déclivité, le convoi a maintenu sa vitesse et franchi les aiguilles à 20 km/h environ.

Lors du deuxième essai, la consigne était de maintenir la traction jusqu'aux aiguilles afin d'évaluer la vitesse maximale que pouvait atteindre le convoi. Lors de cette circulation, l'indicateur de vitesse de l'engin a atteint 30 km/h. Toutefois, cette vitesse provoque en cabine des trépidations et des à-coups transversaux sensibles.

Ce type de locotracteur est équipé d'un limiteur de vitesse déclenchant un signal sonore, puis le freinage d'urgence en cas de dépassement de la vitesse de 34 km/h.

Lors d'un troisième essai, le fonctionnement de ce limiteur a été testé en maintenant la traction à fond sur la voie 32. Le déclenchement a été obtenu alors que le compteur de l'engin indiquait 36 km/h, ce qui est conforme aux tolérances de fonctionnement de ce dispositif.



Figure 25 : Reconstitution de la manœuvre avec le locotracteur Y 8221 et deux wagons chargés

La reconstitution a permis de vérifier qu'une vitesse significativement supérieure à 30 km/h est impossible en raison des faibles capacités d'accélération du locotracteur concerné et de la présence du limiteur de vitesse.

Elle permet également d'affirmer qu'une vitesse de l'ordre de 30 km/h est improbable, car elle suppose une volonté délibérée du conducteur d'atteindre les limites autorisées.

Au total, elle permet de conclure que la vitesse du convoi était probablement bien inférieure à la limite réglementaire de 30 km/h lorsqu'il a abordé les aiguilles où le déraillement a eu lieu et que la vitesse de 20 km/h estimée par le conducteur est vraisemblablement proche de la réalité.

3.6 - Les investigations portant sur le wagon et son chargement

3.6.1 - L'historique de la maintenance

Le wagon n° 83 87 994 5110-2, comme l'ensemble de la série Q76, est soumis au cycle de maintenance suivant :

- des révisions REV N à 48 mois et REV S à 24 mois ;
- des visites techniques à 20 000 km ou 300 jours selon la première valeur atteinte.

Ce schéma de maintenance a été élaboré par la SNCF qui assume le rôle d'entité en charge de la maintenance (ECM) pour le compte de la société Trans-Nucléaire International, détenteur de ces wagons.

Au regard du parcours annuel moyen de la série qui est de l'ordre de 10 000 km par an, le cycle de révision de ces wagons est très serré.

Le tableau ci-après retrace l'historique des révisions auxquelles le wagon accidenté a été soumis depuis sa construction.

13 juin 2012	REV A
16 mars 2010	REV S
15 mai 2008	Construction

L'historique des visites techniques dont il a fait l'objet après sa dernière révision est récapitulé dans le tableau ci-dessous.

9 juillet 2013	Visite technique
13 juin 2012	REV A

À ces révisions et visites, s'ajoute l'opération de maintenance corrective suivante :

29 septembre 2010	Réparation de la commande du frein à vis
-------------------	--

Les échéances de maintenance préventive sont respectées.

Les constats effectués au cours de la dernière révision et les interventions correctives réalisées depuis celle-ci ne font pas apparaître d'indice d'anomalie qui aurait pu contribuer à un déraillement.

3.6.2 - La vérification des cotes des essieux

Les cotes de sécurité des essieux ont été mesurées après l'accident et leur relevé fait l'objet de l'annexe 2 au présent rapport.

Ces différentes cotes sont très largement dans les tolérances et proches de celles d'un essieu neuf ou fraîchement reprofilé.

3.6.3 - La vérification de l'état des liaisons et des jeux aux lisoirs

L'état des liaisons mécaniques entre bogies et châssis intermédiaires et entre châssis intermédiaire et châssis principal a été examiné sur le site du Bourget le 16 janvier 2014 à l'occasion du levage du wagon concerné, réalisé afin de remplacer les deux bogies endommagés lors du déraillement.

Les rotules et les fourrures en matériau synthétique dans lesquelles elles pivotent, ont toutes été trouvées en très bon état, sans aucune trace de grippage. Seule la fourrure du bogie n° 3 présente des traces d'écrasement dans sa partie avant. Ces traces sont probablement la conséquence des efforts anormaux subis lors du déraillement.



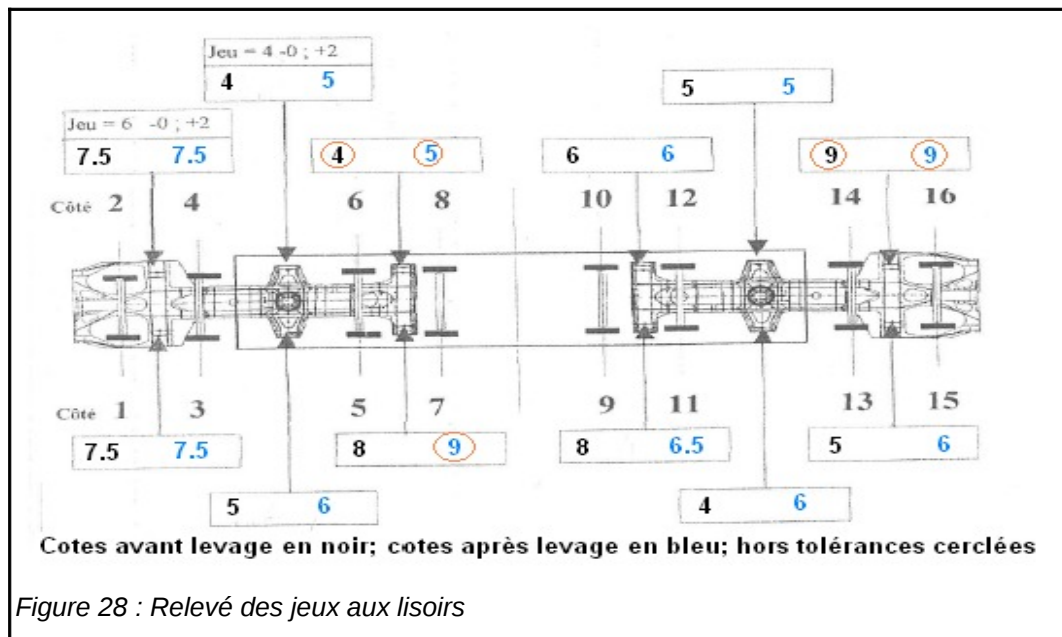
Figure 26 : Rotule arrière du châssis principal



Figure 27 : Fourrure de la crapaudine du châssis intermédiaire arrière.

Les appuis latéraux ont également été examinés. Ils ont été trouvés en bon état et sans aucune trace de grippage.

La présence de jeux suffisants aux lisoirs est nécessaire pour permettre la bonne inscription du wagon dans les gauches de la voie. Ces jeux ont également été mesurés le 16 janvier 2014, avant et après le levage du wagon.



On constate de faibles écarts par rapport aux tolérances.

À ce niveau, ces écarts ne sont pas significatifs car il y a une part aléatoire dans les mesures, liée aux frottements dans les rotules qui peuvent gêner le bon positionnement des châssis et au fait que la planéité de la voie n'est pas garantie.

Ces jeux ayant été mesurés à vide, il est apparu souhaitable de vérifier dans quelle mesure ils diminuaient en charge sous l'effet du fléchissement des traverses des bogies et des châssis. Cette vérification a eu lieu à Valognes le 5 mars 2014. Il est apparu que les différents jeux se réduisent d'environ 1 mm à pleine charge.

3.6.4 - La vérification du fonctionnement du frein

Le système de freinage du wagon considéré a fait l'objet d'une vérification complète à la demande de l'expert judiciaire. Celle-ci a eu lieu le 19 février 2014 dans les ateliers de la société Lormafer où le wagon avait été acheminé après son levage le 16 janvier 2014.

Le wagon est équipé de deux distributeurs, chacun alimentant les freins des deux bogies d'un châssis intermédiaire.

Les différents essais ont permis de constater un fonctionnement normal des deux distributeurs et des équipements de freinage correspondants.

3.6.5 - Le chargement

La masse en charge de l'emballage TN 13/2 avec ses supports est de 116 t. Elle est inférieure à la charge maximale que peut supporter un wagon de la série Q76 qui est de 123,500 t.

Comme indiqué au paragraphe 2.2, le centrage de l'emballage sur le wagon est garanti par des chevalets fixés au châssis principal sur lesquels viennent se loger les tourillons de l'emballage.

À l'intérieur de l'emballage, le panier destiné à recevoir les assemblages de combustible comporte 12 logements qui étaient tous occupés lors du transport en cause.

Le chargement était donc immobilisé et centré longitudinalement et transversalement.

3.7 - Les investigations concernant l'infrastructure voie

3.7.1 - L'historique de la maintenance de la voie

Étant parcourues par des wagons de marchandises dangereuses, la voie sur laquelle l'accident considéré s'est produit, est, comme la plupart des voies du triage du Bourget, répertoriée comme voie de service de classe 1.

À ce titre, cette voie et ses appareils font l'objet d'une maintenance organisée qui comporte :

- des tournées de surveillance toutes les 8 semaines ;
- des enregistrements annuels de leur géométrie ;
- des vérifications de sécurité (VS) des appareils tous les ans ;
- des visites périodiques (VP) tous les 3 ans.

Les tournées de surveillance

La voie concernée fait partie du parcours n° 7 de la brigade du Bourget-Triage. Les dernières tournées de surveillance y ont eu lieu les 20 décembre, 28 octobre et 26 août 2013. Leur espacement est conforme aux tolérances et aucun signallement ne concerne le branchement 32/40, ni les voies adjacentes.

Les enregistrements de la géométrie de la voie

Le dernier enregistrement de la géométrie de la voie a été effectué le 27 mars 2013 à l'aide d'une draine de mesure.

Sur l'appareil 32/40, il a été détecté un gauche sur 3 mètres (G3) de 11 mm, ne nécessitant pas une intervention corrective et qui a été laissé en l'état.

Les vérifications de sécurité et visites périodiques

Le tableau de programmation des vérifications et des visites prévoyait, pour le branchement 32/40, une VS en 2012 et en 2013 ainsi qu'une VS et une VP en 2011 et en 2014.

La dernière vérification de sécurité a été effectuée le 2 janvier 2013. Sa fiche de traçabilité indique une ébréchure de 80 mm sur l'aiguille de droite du branchement 40, une usure de la partie centrale d'un cœur et la réalisation du meulage des abouts et du serrage de la boulonnerie.

3.7.2 - La vérification de la géométrie de l'appareil et de la voie

Dans le cadre des investigations effectuées immédiatement après le déraillement, il a été procédé à une vérification de la géométrie de la voie avec mesure des dévers et des écartements.

Le relevé correspondant figure en annexe 3 au présent rapport.

Pour les voies de service, la consigne IN 1785 « *Normes de maintenance des appareils de voie* » ne donne que des valeurs de ralentissement (VR). Il est intéressant d'avoir également en tête les valeurs d'intervention (VI) applicables aux voies principales où la vitesse maximale autorisée est faible.

	Voie de service	Voie principale à $V_{max} \leq 60$	
	VR	VI	VR
Gauche sur 3 m	18 mm	9 ou 15 mm ⁽⁸⁾	18 mm
Écartement maximal	1467 mm	1460 mm	1467 mm
Écartement minimal	1426 mm	pas de VI	1426 mm

Les paramètres relevés sur la section de voie concernée sont partout dans les limites des valeurs de ralentissement.

La valeur d'intervention est atteinte ou dépassée ponctuellement au niveau de la pointe de l'aiguille 32 avec un écartement maximal de 1460 mm et un gauche sur 3 mètres de 10 mm.

3.7.3 - La vérification du tracé de l'itinéraire concerné

En l'absence de norme de maintenance pour le dressage, il a été procédé à une vérification du tracé afin d'apprécier sa conformité avec les prescriptions de la procédure IN 0230 relative à l'implantation des appareils de voie.

Le relevé des flèches, effectué avec un cordeau de 10 m, figure en annexe 4 à ce rapport.

Le rayon en mètres des courbes est donné par la formule $R = 25\,000 / 2 f$ où f est la flèche en mm.

L'itinéraire emprunté par la manœuvre présente une courbe à gauche sur l'aiguille B puis une courbe à droite sur l'aiguille 32.



Figure 29 : Tracé sinueux de l'itinéraire concerné

Sur le branchement 3 voies 32/40, les flèches maximales sont de 70 mm en pointe de l'aiguille 32 et de 77 mm à proximité du cœur correspondant respectivement à des rayons de 179 m et de 162 m, légèrement inférieurs au rayon minimal de 190 m prescrit par le

8 9 mm sur l'aiguillage proprement dit et 5 m en amont ; 15 mm sur le reste de l'appareil et 5 m en aval

référentiel de conception RFF IC 272. Ce référentiel admet toutefois un minimum de 150 m à titre exceptionnel.

Dans un itinéraire sinueux, les deux courbes contraires doivent être séparées par un alignement dont la longueur minimale prescrite par le référentiel RFF IC 272 et par la procédure IN 230 est de 10 m.

La distance entre les pointes des aiguilles B et 32 est de 10,20 m.

La flèche de 14 mm sur 10 m relevée sur ce tronçon correspond à une courbe d'un rayon de 900 m que l'on peut assimiler à un alignement.

Ainsi, l'itinéraire présente un tracé sinueux sévère, proche des limites autorisées.

3.8 - Les investigations relatives aux systèmes de commande et de contrôle des aiguilles

3.8.1 - Les systèmes électriques

Les aiguilles du branchement 32/40 sont commandées électriquement depuis le poste électronique de débranchement (PED) du poste 2.

Pour empêcher la manœuvre des aiguilles sous une circulation, leur commande est soumise à un enclenchement par zone isolée.

C'est la zone 271 qui couvre les branchements 32/40 et B.

Le circuit de voie de cette zone est soumis à une maintenance préventive d'une périodicité de 24 mois. Dans ce cadre, la dernière opération a été réalisée le 24 septembre 2012. Les mesures n'ont pas fait apparaître d'anomalie.

Le bon fonctionnement du circuit de voie (CdV) a été vérifié dès que le wagon a libéré la zone précitée, à savoir le lendemain de l'accident. Cette vérification s'est conclue positivement.

3.8.2 - Les systèmes mécaniques

Les dispositifs mécaniques de commande des aiguilles font l'objet d'une maintenance préventive annuelle, à l'exception du système de calage qui est vérifié tous les 6 mois.

Le système de calage à agrafe

Ce système vise à éviter que la lame courbe de l'aiguille (l'aiguille gauche dans le cas du branchement 32) ne s'écarte intempestivement sous les efforts de flexion appliqués par les véhicules.

Le principe de fonctionnement de ce système est décrit dans l'annexe 5 à ce rapport.

Lors de la dernière intervention de maintenance préventive sur l'aiguille 32, le 28 octobre 2013, le jeu « J » du calage à agrafe concerné s'est avéré supérieur à 1 mm.

Dans ce cas, le document métier IN 07110 « *Maintenance du calage talonnable à agrafe* » prévoit le remplacement de certaines pièces du dispositif afin de ramener ce jeu à moins de 1 mm.

Ce remplacement de pièces n'avait pas été effectué à la date du déraillement.

Le délai de remplacement de ces pièces n'est, toutefois, pas borné réglementairement. Il est laissé à l'appréciation du dirigeant d'unité.

En outre, lorsqu'elle est supérieure à 1 mm, la valeur du jeu « J » n'est pas relevée sur la fiche de maintenance. La pertinence du délai d'intervention par rapport à la criticité du défaut ne peut donc pas être contrôlée a posteriori.

Ce défaut peut se traduire par un entrebâillement à la pointe de l'aiguille qui pourrait poser problème au passage d'un véhicule avec des essieux dont les boudins ont un profil défectueux, ce qui n'est pas le cas du wagon concerné.

L'absence de trace de choc sur la pointe de l'aiguille confirme qu'un tel entrebâillement éventuel n'a pas joué dans le mécanisme du déraillement survenu le 23 décembre 2013.

3.9 - Le retour d'expérience d'événements similaires

3.9.1 - *Le retour d'expérience sur des incidents ayant affecté des wagons de transport nucléaire*

Au vu des éléments fournis par AREVA et EDF, l'accident du 23 décembre 2013 est le seul déraillement ayant impliqué un wagon de la série Q76.

Précédemment, depuis 1995, 11 déraillements ont affecté des transports de combustibles usés. Ils se sont tous produits sur voies de service et n'ont pas eu de conséquences significatives.

Dans neuf cas, les wagons concernés sont hors de cause. Il reste donc deux cas (CNPE* de Saint-Alban le 9 février 1995 et CNPE de Cruas le 22 novembre 2012) où l'origine du déraillement n'a pas pu être précisément déterminée et où l'implication du wagon n'est donc pas complètement écartée.

Ce chiffre faible ne permet pas de conclure à une sensibilité particulière de ce type de wagon, même en tenant compte de leur petit nombre (51) et de leur parcours annuel limité (environ 10 000 km).

3.9.2 - *Le retour d'expérience sur des incidents survenus sur l'aiguille 32 du triage du Bourget*

Le 5 juillet 2012, lors d'une manœuvre empruntant le même itinéraire sur les aiguilles B, 40 et 32, un wagon a déraillé d'un bogie en pointe de l'aiguille 32.

Les circonstances de ce mouvement sont différentes de celles du 23 décembre 2013 :

- la manœuvre était constituée de cinq wagons poussés par un locotracteur ;
- le véhicule déraillé est un wagon vide situé en 5^e position ;
- le 4^e wagon avait un tampon défectueux à l'avant, interdisant normalement son incorporation dans cette position.

Toutefois, certains éléments sont similaires :

- l'itinéraire et la zone du déraillement ;
- le déraillement vers la gauche du bogie avant ;
- l'absence d'indices apparents.

* Terme figurant dans le glossaire

Compte tenu du peu de dégâts, l'enquête n'avait pas été poussée très loin au-delà du constat de la non-conformité du 4^e wagon. En l'absence d'indices probants, elle n'avait pas conclu sur les causes ni sur le mécanisme du déraillement.

3.10 - Conclusions partielles

À ce stade, les causes du déraillement du wagon chargé de type Q76 qui s'est produit le 23 décembre 2013, n'apparaissent pas.

Les investigations sur ce wagon, son chargement, la voie et les systèmes de commande et de contrôle des aiguilles n'ont pas permis de mettre en évidence d'éventuels écarts par rapport aux règlements, normes ou critères de maintenance en vigueur.

En outre, les principaux paramètres que sont la vitesse du convoi, la répartition du chargement, la géométrie du wagon et celle de la voie sont dans les limites prescrites ou tolérées.

Des investigations approfondies sont donc nécessaires pour comprendre les causes de ce déraillement.

4 - Approfondissement des investigations sur les causes du déraillement

4.1 - Les différents scénarios envisageables a priori

4.1.1 - La manœuvre de l'aiguille 32 sous la circulation

L'enclenchement par zone isolée empêche normalement la commande de l'aiguille concernée par l'opérateur du poste électronique de débranchement (PED) pendant le passage d'une circulation. En outre, une telle action de l'aiguilleur n'avait aucun sens par rapport aux manœuvres en cours.

Si toutefois, suite à une action aberrante de l'aiguilleur ou à une défaillance fugitive des installations, l'aiguillage 32 avait tourné à gauche entre le 2^e et le 3^e bogie, le 4^e bogie aurait également déraillé au niveau de cette aiguille ou serait parti à gauche provoquant un bivoie.

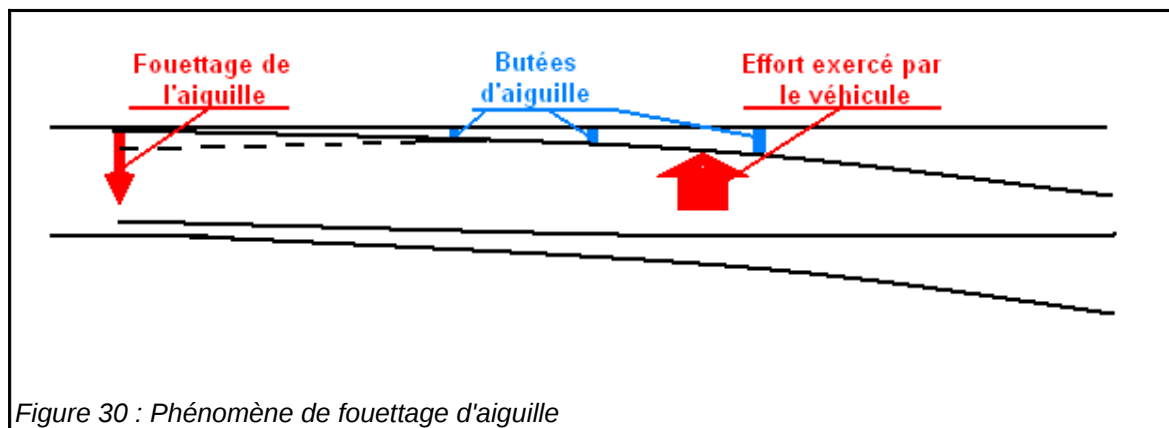
Tel n'a pas été le cas. Pour conduire au déraillement tel qu'il s'est produit, l'aiguille 32 aurait dû être commandée à gauche entre le 2^e et le 3^e bogie, puis à droite entre le 3^e et le 4^e.

Ce scénario est donc écarté.

4.1.2 - Le fouettage d'aiguille

Lorsqu'un véhicule franchit une courbe, la roue extérieure du premier essieu, qu'on appelle « la roue guidante », exerce sur le rail un effort transversal « Y » dirigé vers l'extérieur de la courbe.

Sur l'aiguille courbe d'un aiguillage pris en déviation, cet effort transversal peut, lorsqu'il est élevé et qu'il s'applique à proximité du talon de l'aiguille, produire un entrebâillement fugitif de la pointe de l'aiguille.



Si l'essieu ou le bogie suivant aborde la pointe de l'aiguille à cet instant précis, il se produit alors un enfourchement de l'aiguille, puis un déraillement.

Pour éviter ce phénomène, différents dispositifs peuvent être utilisés tels que le système de calage à agrafe qui équipe le branchement 32.

Dans le cas présent, la distance entre la roue 1 qui est la roue guidante et l'essieu 9-10 qui est le premier essieu déraillé est de 11 m environ. La roue 1 a donc largement dépassé le talon de l'aiguille lorsque l'essieu 9-10 aborde la pointe.

S'agissant d'un wagon d'un type particulier et chargé, on peut admettre que les roues 3, 5 ou 7 sont également susceptibles d'exercer sur l'aiguille des efforts « Y » élevés.

Toutefois, le fouettage n'est possible que si le dispositif de calage ne joue pas son rôle.

La déformation de la bielle de liaison du système de calage à agrafe concerné qui a été observée après l'accident, si elle était antérieure à cet événement, aurait été de nature à le rendre inefficace.

Ce scénario est possible à condition d'admettre que les roues non-guidantes sont susceptibles d'exercer des efforts latéraux élevés et que la bielle de liaison précitée a été endommagée avant l'accident.

Aucun événement susceptible d'être à l'origine d'un tel endommagement n'apparaît dans le retour d'expérience local depuis un déraillement survenu le 5 juillet 2012.

En outre, généralement, l'amplitude de l'entrebâillement est inférieure à l'épaisseur du boudin et ce scénario se traduit, sur la pointe de l'aiguille, par des marques caractéristiques causées par le choc du ou des boudins concernés. Or, lors des investigations effectuées sur place en décembre 2013 et en janvier 2014, il n'a pas été constaté de telles marques sur l'aiguille gauche du branchement simple 32.

Le BEA-TT considère donc que ce scénario est peu probable, mais pas impossible.

4.1.3 - La montée de la roue guidante

Dans une courbe en l'absence de devers, comme c'est le cas sur les voies de service, les roues sont soumises à un effort transversal dû à la force centrifuge subie par le véhicule.

Elles sont également soumises à d'autres efforts transversaux variables ou aléatoires liés, notamment, à la géométrie de la voie et aux mouvements du véhicule ou du bogie.

La résultante de ces efforts transversaux subis par une roue est appelée force « Y ».

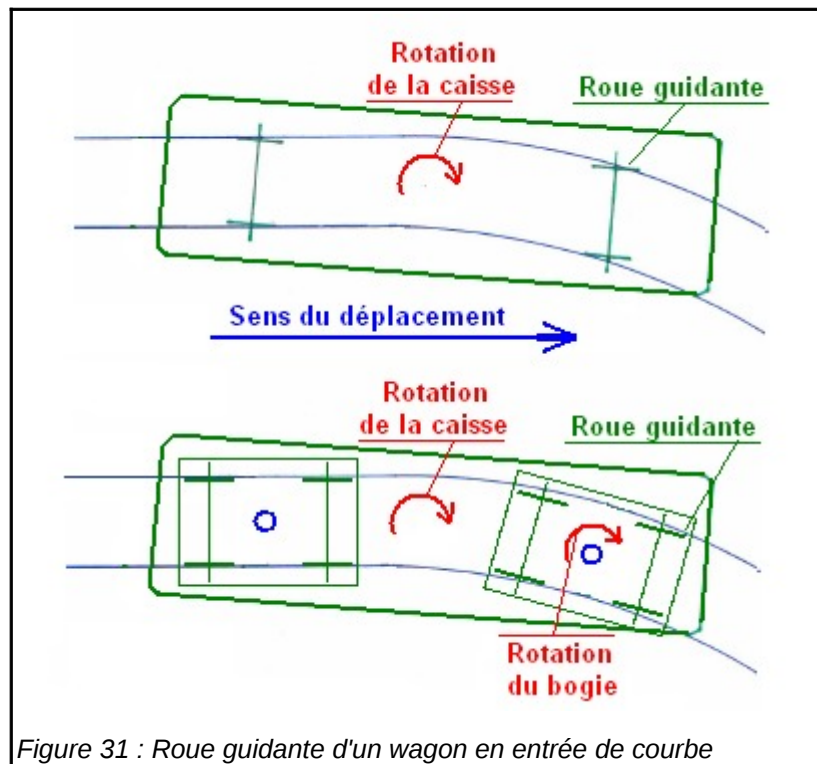
Si cette force est élevée et dirigée vers l'extérieur de la voie, et si la charge verticale « Q » qui s'applique sur la roue est faible, le boudin de la roue peut escalader le champignon du rail et dérailler. On dit qu'il y a alors « *montée de roue* ».

Le risque de déraillement par montée de roue est de fait caractérisé par le rapport « Y/Q ».

En entrée de courbe, l'effort « Y » est particulièrement élevé pour la roue guidante.

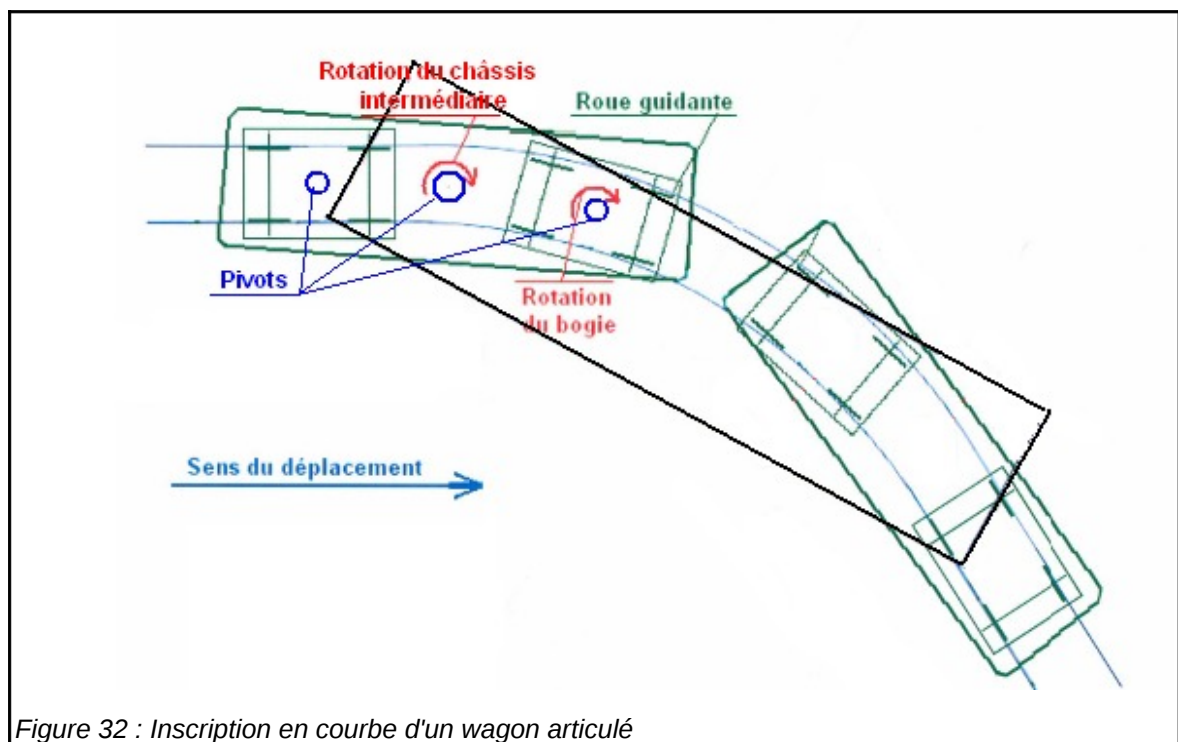
En effet, en entrée de courbe, c'est la roue guidante qui fait tourner le véhicule et, dans le cas d'un véhicule à bogies, l'effort qui s'y exerce fait aussi pivoter le bogie avant.

Pour un wagon à bogies, les efforts transversaux subis par la roue guidante en entrée de courbe sont fonction de la vitesse, du rayon de la courbe, du moment d'inertie de la caisse, de celui du bogie et du couple de rotation du bogie par rapport à la caisse.



Pour un wagon articulé comme ceux de la série Q76, chaque châssis intermédiaire se comporte un peu comme un wagon à bogies.

Toutefois, la rotation de chaque châssis intermédiaire n'est pas libre en raison de sa liaison avec le châssis principal. Les efforts « Y » de la roue guidante doivent également vaincre la résistance du couple de rotation du châssis intermédiaire par rapport au châssis principal.



Lorsqu'un tel wagon circule avec son extrémité 1 en avant dans une courbe à droite, la roue guidante est la roue 1 pour le châssis avant et la roue 9 pour le châssis arrière.

Sur l'itinéraire en cause, l'aiguille 32 où s'est produit le déraillement constitue l'entrée d'une courbe à droite qui fait suite à courbe à gauche située sur l'aiguille B, puis à un alignement sur l'aiguille 40.

Le déraillement de l'essieu 9-10 par montée de la roue 9 sur le rail est donc un scénario plausible.

4.2 - Approfondissement du scénario de montée de la roue guidante du 3^e bogie

4.2.1 - Les simulations numériques du déraillement

Le centre d'ingénierie du matériel de la SNCF a procédé à des simulations numériques prenant en compte tant les caractéristiques géométriques de la voie (dévers, flèche, nivellement et écartement) mesurées manuellement sur le site que les caractéristiques du wagon et sa vitesse.

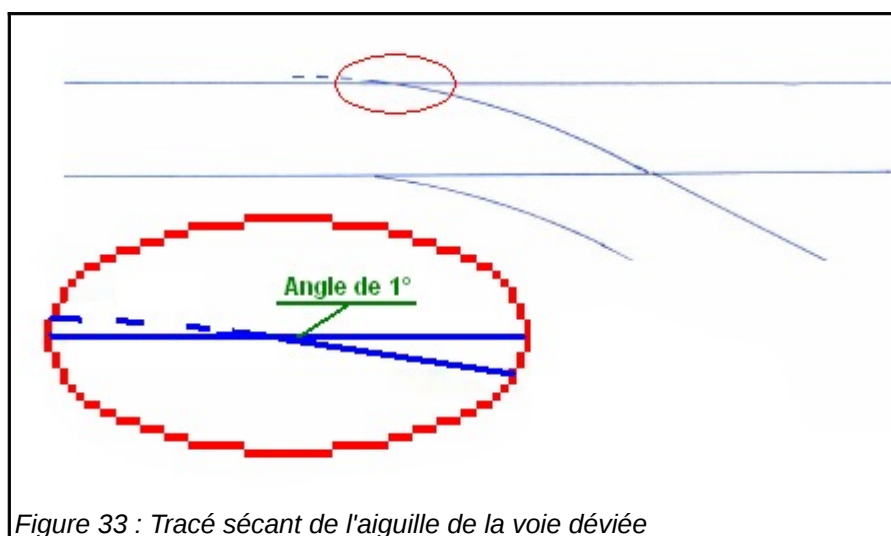
Le calcul du rapport « Y/Q » pour chaque roue montre qu'il présente, pour la roue 9, un maximum relatif au passage de la pointe de l'aiguille 32. Ce maximum n'atteint cependant que 0,45.

La prise en compte de couples de rotation des bogies et des châssis intermédiaires multipliés par 2 ou par 4 ainsi que l'hypothèse d'une vitesse de 30 km/h au lieu de 20 ne modifient pas significativement les résultats, le rapport « Y/Q » restant inférieur à 0,50.

Les résultats de ces simulations ne confirment pas l'hypothèse d'un déraillement par montée de roue car on admet que ce risque n'existe pas lorsque l'indicateur « Y/Q » est inférieur à 0,8.

4.2.2 - La particularité du tracé sécant des branchements de type court

Pour limiter leur encombrement en longueur, les branchements de type court présentent un tracé sécant et non pas tangent ainsi que le montre la figure 33 ci-après.



La pointe de l'aiguille de la voie déviée fait un angle de 1° par rapport à la voie directe. Cette particularité introduit un point anguleux dans le tracé de la voie déviée qui se traduit par un pic de l'effort « Y » de la roue guidante, dû au fait qu'il faut vaincre quasi-instantanément les moments d'inertie du bogie concerné et du véhicule.

Le calcul, par simulations numériques, de la valeur de ce pic de l'effort « Y » et de sa durée a été tenté mais n'a pas donné de résultat probant.

Quoi qu'il en soit, sur de tels branchements, le tracé sécant introduit un angle d'attaque de 1° de la roue guidante par rapport au rail, qui contribue à la montée du boudin sur le champignon.

Ces appareils ne sont donc utilisés que sur des voies de service ou, éventuellement, sur les voies principales des itinéraires où ils ne sont pris en compte qu'à moins de 30 km/h.

4.2.3 - L'usure latérale de l'aiguille

La vérification de l'usure latérale des aiguilles se fait à l'aide de calibres prévus à cet effet.

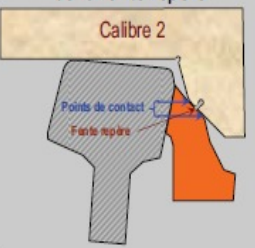
1) Contact Calibre2/Aiguille	Contact Calibre2/Aiguille au-dessus de la fente repère 		Contact Calibre2/Aiguille au-dessus et au-dessous de la fente repère 	Contact Calibre2/Aiguille au-dessous de la fente repère 
	Contrôle à l'aide du Gabarit de meulage  Pente $\geq 60^\circ$		Contrôle de la pente d'usure de l'aiguille inutile : Le contact simultané au-dessus et au-dessous, signifie que : $40^\circ < \text{Pente} < 60^\circ$	
2) Pente d'usure aiguille	Contrôle à l'aide du Gabarit de meulage  Pente $< 60^\circ$		Contrôle de la pente d'usure de l'aiguille inutile : Le contact au-dessous signifie que : Pente $\leq 40^\circ$	
	L'état de l'aiguille est correct		L'usure de l'aiguille, et son évolution, laissent craindre un risque, à court ou moyen terme, de montée du boudin sur l'aiguille	
Classement Bon		Classement VA		Classement VR

Figure 34 : Extrait de la procédure IN 0287 "Entretien des appareils de voie"

Lors de la vérification de l'aiguille gauche du branchement 32, le contact avec le calibre n° 2 s'est fait au-dessus de la fente repère et il a été constaté à l'aide du gabarit de meulage que la pente de cette aiguille était proche de 60°.



Figure 35 : Vérification avec calibre le n° 2 et avec le gabarit de meulage

Le classement est donc bon, mais proche de la valeur d'alerte (VA).

Or, lorsque l'aiguille présente une usure latérale importante, il y a risque de montée du boudin d'une roue sur celle-ci, puis sur le contre-aiguille.

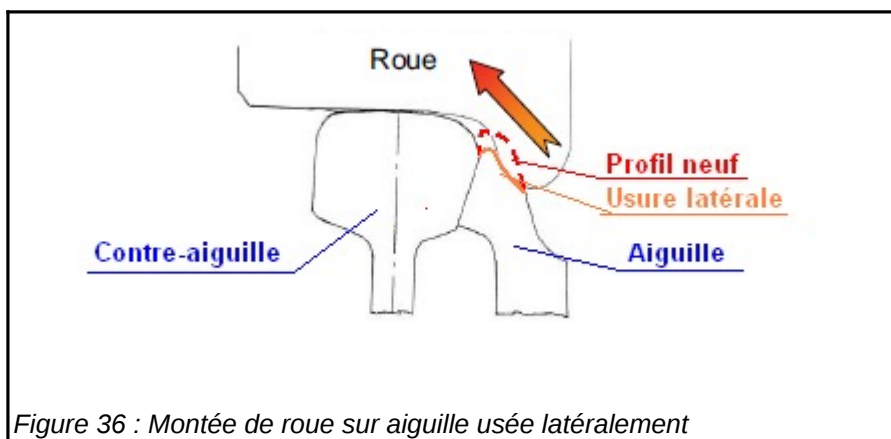


Figure 36 : Montée de roue sur aiguille usée latéralement

Ce risque est plus grand si le boudin est neuf ou peu usé, ce qui est le cas des essieux du wagon concerné.

4.2.4 - La déformation de la bielle du dispositif de calage à agrafe

Ainsi qu'il l'a été indiqué dans le chapitre 3.4.1, la bielle de raccord du dispositif de calage de l'aiguille 32 a été trouvée déformée après l'accident.

Le présent chapitre vise à expliquer comment une telle bielle peut être déformée lors de la montée d'une roue guidante en pointe de l'aiguille courbe d'un branchement.

Les dispositifs de calage à agrafe sont normalement installés sur les aiguilles courbes des appareils de voie dont la longueur est inférieure ou égale à 9 mètres, ce qui est le cas de l'aiguille gauche du branchement 32.

L'annexe 5 à ce rapport détaille les principes de fonctionnement de ces dispositifs.

Lors de la montée d'une roue en pointe d'une aiguille courbe, après avoir escaladé le flanc de l'aiguille, le boudin tend à pénétrer dans le sillon entre le contre-aiguille et l'aiguille et à écarter celle-ci.

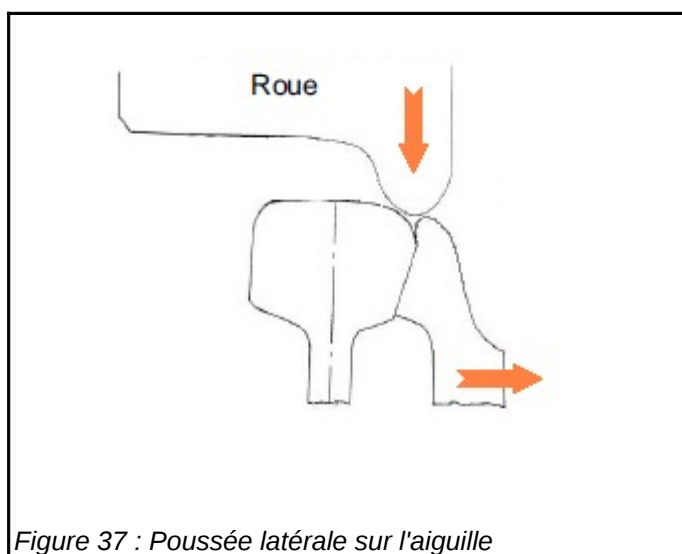


Figure 37 : Poussée latérale sur l'aiguille

La poussée latérale exercée sur l'aiguille se transmet à l'agrafe d'enclenchement, ce qui a pour effet de coincer la bielle de raccord dans la pièce d'enclenchement.

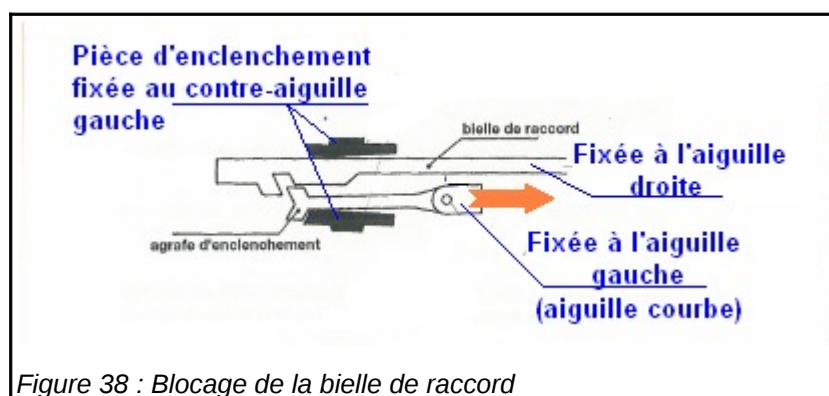
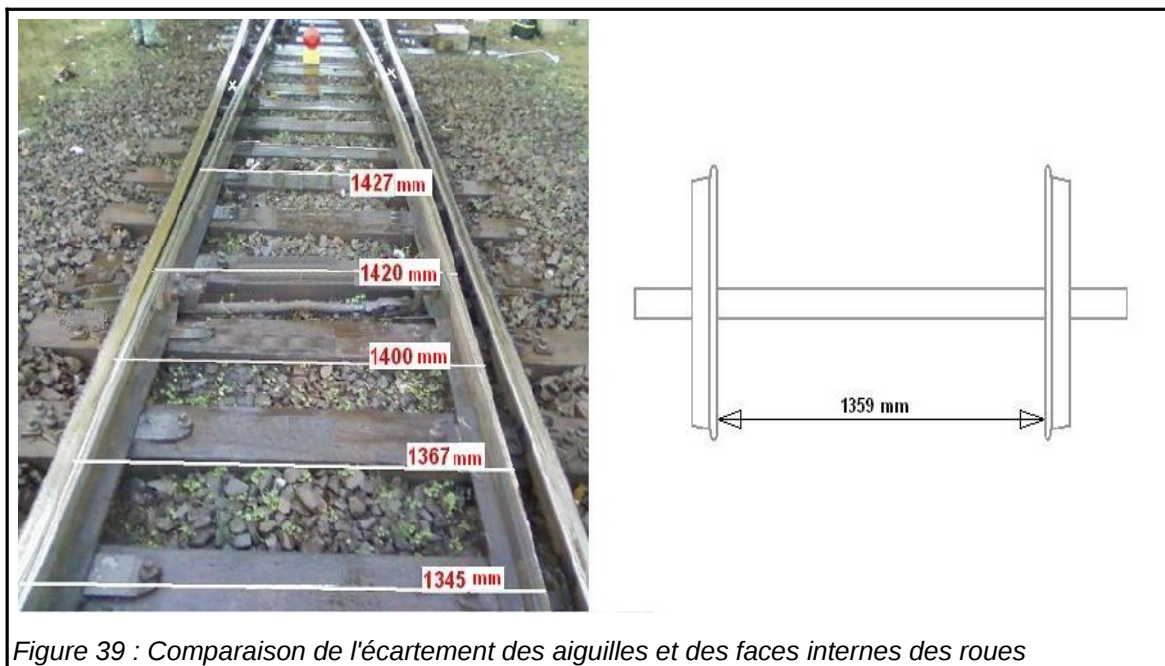


Figure 38 : Blocage de la bielle de raccord

Simultanément, la face interne de la roue droite vient en appui sur l'aiguille droite et pousse celle-ci vers la gauche car l'écartement des faces externes des aiguilles est inférieur à l'écartement des faces internes des roues.



L'extrémité de la bielle de raccord étant bloquée dans le dispositif de calage, le mouvement de l'aiguille droite provoque le flambage de cette bielle de raccord.

4.2.5 - Conclusions sur le scénario de déraillement

Au vu de ces éléments, le BEA-TT considère que le scénario le plus vraisemblable du déraillement est la montée de la roue n° 9, roue guidante du demi-châssis arrière du wagon concerné, sur l'aiguille gauche du branchement 32.

Les résultats des simulations numériques n'appuient pas cette hypothèse. En effet, il est admis que la valeur du rapport « Y/Q » au-dessus de laquelle le risque de déraillement existe est au moins de 0,8.

Or, ces simulations concluent que le rapport « Y/Q » n'excède pas 0,5.

Toutefois, la présence d'un point anguleux en pointe de l'aiguille 32 induisant un pic de l'effort « Y » de la roue guidante, dont l'évaluation par le logiciel de simulation n'a pas donné de résultat convainquant et le fait que le calcul a pris en compte une géométrie de la voie mesurée à vide, donc potentiellement différente de la géométrie en charge, relativisent les résultats obtenus.

À cet égard, il convient de rappeler que dans le cas du déraillement en pleine voie d'un wagon chargé de minerai survenu à La Ferté-sur-Chiers le 13 juin 2006, la montée de roue était avérée alors que la simulation numérique aboutissait à un rapport « Y/Q » ne dépassant pas 0,44.

5 - Déroulement de l'accident

Le train n° 454646 acheminant le wagon de transport nucléaire n° 83 87 994 5110-2 chargé de combustible usé est reçu sur la voie 8 du faisceau de réception du triage du Bourget le 23 décembre à 14h42.

Ce wagon doit repartir à 23h04 dans le train n° 56001 à destination de Sotteville. Ne pouvant pas être trié à la gravité, il doit être tiré par un engin moteur pour être positionné sur la voie de départ de son train.

À 15h45, le conducteur du locotracteur reçoit de la part du freineur l'ordre d'aller effectuer ce mouvement.

Après que le locotracteur s'est positionné au contact du wagon concerné, l'agent de manœuvre réalise l'attelage et raccorde la conduite générale de frein.

Pendant que le conducteur desserre les freins du wagon, le freineur demande à l'agent circulation d'établir l'itinéraire entre la voie 8 et le groupe DBII du faisceau de formation par la voie évite-bosse et il établit lui-même la partie de l'itinéraire qui lui incombe entre la voie évite-bosse et la voie 32.

Dès que le conducteur annonce qu'il est prêt, le freineur l'informe qu'il va évoluer vers la tête du faisceau de formation via la voie évite-bosse et la voie 32 et lui donne l'ordre de se mettre en mouvement.

Le conducteur démarre et circule à environ 20 km/h.

À 16h02, au passage sur la pointe de l'aiguille 32, le premier, puis le deuxième essieux, du 3^e bogie du wagon concerné déraillent vers la gauche.

Le wagon continue à rouler avec ce bogie déraillé et après 50 m environ, son bogie de queue déraille à son tour et le convoi s'arrête.

Le wagon est sur ses roues et ne présente pas de dommage apparent ailleurs que sur ses organes de roulement.

Dès qu'il est informé du déraillement et de l'implication d'un wagon de transport de matières dangereuses, l'agent circulation du poste 2 du triage du Bourget met en œuvre les mesures de sa compétence prévues au plan d'urgence interne matières dangereuses.

Les pompiers sont avisés à 16h05 et arrivent sur les lieux à 16h58.

À 17h53, l'équipe spécialisée de la brigade des sapeurs-pompiers de Paris procède aux mesures radiologiques qui ne révèlent pas d'anomalie.

Constatant l'absence de danger, les mesures de confinement sont levées à 18h10.

Au plan de la sûreté nucléaire, l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) a classé cet événement au niveau zéro de l'échelle INES.

6 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

6.1 - Les causes de l'accident

La cause immédiate du déraillement du wagon de transport nucléaire concerné est très probablement la montée sur le rail, à la pointe de l'aiguille 32, de sa roue n° 9 qui était la roue guidante de son troisième bogie dans la courbe à droite constituée par cette aiguille. Toutefois, les causes de cette montée de roue ne sont pas établies de façon irréfutable.

Elle résulte vraisemblablement de la conjonction exceptionnelle d'un ensemble de facteurs, à savoir :

- un tracé sinueux avec une courbe à gauche sur l'aiguille B, un alignement de 10,20 m proche du minimum prescrit qui est de 10 m, une courbe à droite sur l'aiguille 32 avec des rayons de 180 m en pointe et de 163 m en talon situés entre la norme de 190 m et la tolérance exceptionnelle de 150 m requises par le référentiel RFF IC 0272 ;
- un point singulier à la pointe de l'aiguille 32 où l'aiguille et le contre-aiguille ne sont pas tangents mais forment un angle de 1°. Cette géométrie est conforme aux spécifications applicables au du type d'appareil de voie concerné mais elle induit un angle d'attaque non nul pour les roues guidantes abordant la pointe de cette aiguille ;
- une usure latérale de l'aiguille proche de la valeur d'alerte ;
- des essieux du wagon présentant un profil proche du neuf qui facilite une montée de roue en cas d'usure latérale de l'aiguille ;
- un wagon articulé ce qui induit des couplages supplémentaires entre ses deux demi-châssis par l'intermédiaire de son châssis principal et de ses pivots ;
- un wagon chargé ce qui augmente les couples de rotation des bogies et des demi-châssis et accroît la probabilité que son troisième bogie ait abordé la pointe de l'aiguille 32 avec un angle de braquage non nul ;
- un centre de gravité du wagon plus haut que la moyenne ce qui peut induire des oscillations de roulis après le franchissement de défauts de nivellement transversal.

À ces facteurs, pour aboutir au déraillement, il a fallu que se combinent également des éléments variables tels que la vitesse du mouvement et les réactions longitudinales d'attelage qui font au total, que le retour d'un tel événement est extrêmement improbable.

6.2 - Les orientations préventives

S'agissant d'un déraillement sans précédent dû à une conjonction exceptionnelle de facteurs divers et le risque pour les personnes d'un incident similaire étant inexistant, il n'apparaît pas de piste raisonnable pouvant conduire à des recommandations pertinentes visant à en éviter le renouvellement.

Par ailleurs, les conditions de gestion des incidents affectant les wagons de matières dangereuses dans les triages ont été examinées en profondeur par la mission que le Conseil général de l'environnement et du développement durable a conduite en 2014 à la demande du ministre chargé des transports sur l'état des infrastructures et les modes d'exploitation des triages où transitent des matières dangereuses.

Dans ses conclusions, cette mission préconise d'affiner la typologie des incidents potentiels et les procédures de levée de doute afin de mieux proportionner la réponse au risque et, notamment, de ne pas déclencher systématiquement le niveau d'alerte le plus

élevé pour tout déraillement d'un wagon, tout particulièrement lorsqu'il se produit à faible vitesse et que l'intégrité de son chargement n'est manifestement pas compromise.

Le BEA-TT en prend acte et invite la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer et la direction générale de la prévention des risques à mettre en œuvre les recommandations formulées en ce domaine par la mission précitée.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Relevé des cotes de sécurité des essieux du wagon accidenté

Annexe 3 : Relevé de la géométrie de la section de voie de service concernée par le déraillement

Annexe 4 : Relevé des flèches de la section d'itinéraire concernée par le déraillement

Annexe 5 : Description et principe de fonctionnement des dispositifs de calage à agrafe

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

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

La Défense, le 23 décembre 2013

Le Directeur

DECISION

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

Vu le code des transports et notamment le titre II du livre VI de la 1^{re} partie relatif à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport ;

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

Vu les circonstances du déraillement d'un wagon transportant des matières nucléaires survenu le 23 décembre 2013 dans la gare de triage de Drancy en Seine-Saint-Denis (93) et la demande du ministre des transports ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application du titre II du livre VI de la 1^{re} partie du code des transports sur le déraillement d'un wagon transportant du combustible nucléaire irradié survenu le 23 décembre 2013 dans la gare de triage sise à Drancy en Seine-Saint-Denis.

Le Directeur du BEA-TT

Claude AZAM

Annexe 2 : Relevé des cotes de sécurité des essieux du wagon accidenté

N° du Véhicule : **83 87 994 5-110-2** **Bogie 1 et 2**

N° Essieu	N° roue	Boudins			e	Ecartement des faces internes E1 (a1) en 3 points			Ecartement des faces actives Ea (a2)		
		H	e	qR							
	1	28,6	29,6	10,0		1358,5	1358,7	1358,3			
	2	28,7	29,4	9,7							
	3	28,4	29,6	10,2		1359,0	1358,7	1358,6			
	4	28,7	29,7	10,0							
	5	28,7	29,8	10,0		1359,3	1359,6	1359,4			
	6	28,5	29,4	9,8							
	7	28,7	29,7	9,8		1358,8	1358,3	1358,5			
	8	28,4	30,0	10,0							
	9										
	10										
	11										
	12										

Feuille de traçabilité de relevé dimensionnel

1

N° du Véhicule : **83 87 994 5-110-2** **Bogie 3 et 4**

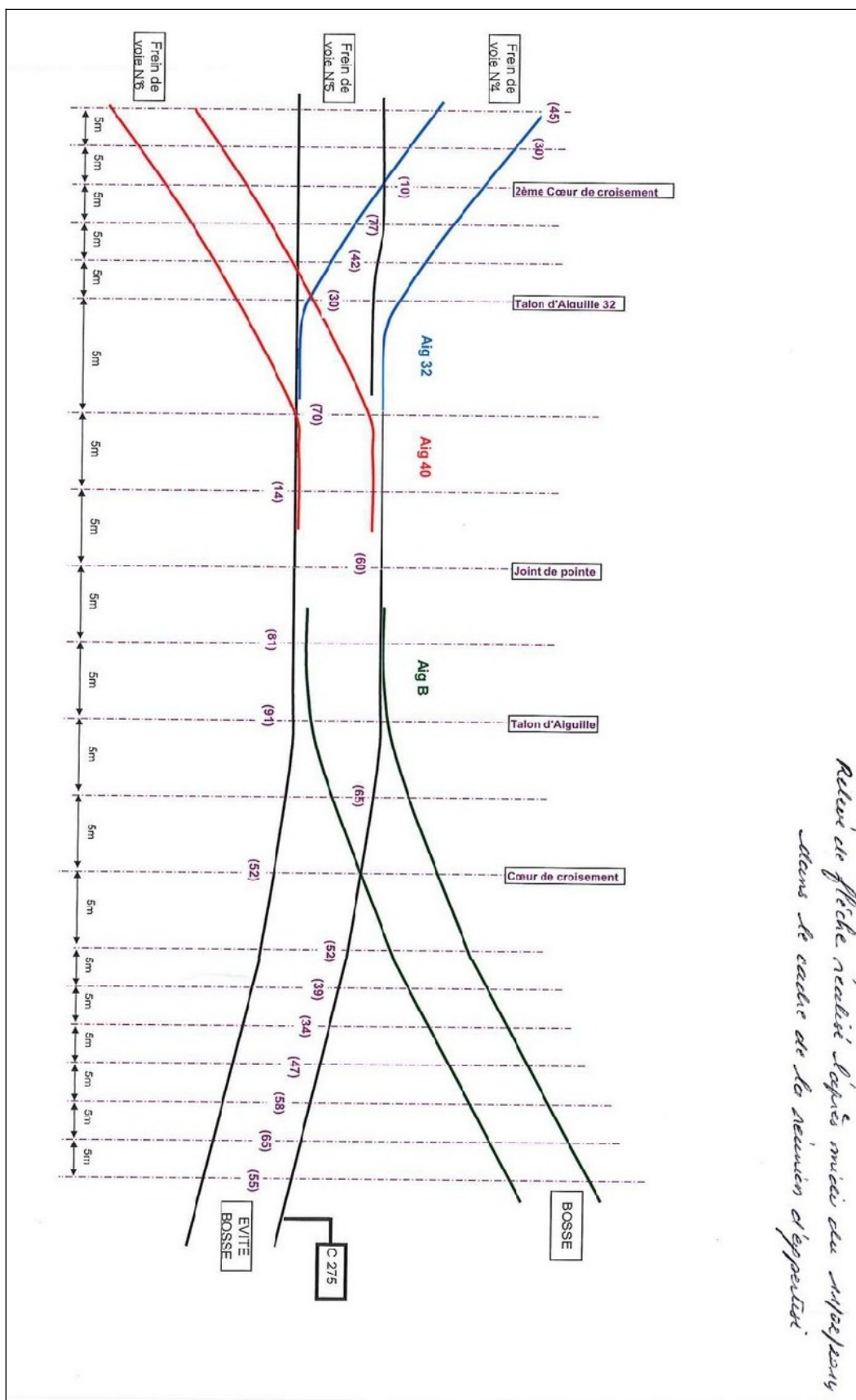
N° Essieu	N° roue	Boudins			e	Ecartement des faces internes E1 (a1) en 3 points			Ecartement des faces actives Ea (a2)		
		H	e	qR							
	13	27,8	29,9	10,4		1358,6	1358,5	1358,7			
	14	28,0	30,0	10,0							
	15	27,9	29,9	9,9		1359,4	1359,0	1359,3			
	16	28,0	29,6	10,4							
	17										
	18										
	19	28,4	30,5	10,2		1358,9	1358,6	1358,7			
	20	28,0	29,6	10,2							
	21	28,0	29,6	10,3		1360,4	1359,8	1360,0			
	22	28,4	30,6	10,3							

Feuille de traçabilité de relevé dimensionnel

1

[illegible]

Annexe 4 : Relevé des flèches de la section d'itinéraire concernée par le déraillement



Annexe 5 : Description et principe de fonctionnement des dispositifs de calage à agrafe

COPIE

Fiche 42 09

IMMOBILISATION DES AIGUILLAGES

PLAQUETTE DE CALAGE ET CALAGES TALONNABLES

APPAREIL DE CALAGE TALONNABLE À AGRAFE

- L'appareil de calage talonnable à agrafe dérive d'un appareil semblable mis au point par l'ancien réseau Alsace-Lorraine.
- L'appareil de calage talonnable à agrafe se monte sur les aiguilles courbes des appareils de voie unifiés de longueur inférieure ou égale à 9 m. Il remplace peu à peu l'appareil de calage De Dietrich.
- L'appareil est installé en deuxième travée ou en quatrième travée sur les branchements à déviation [Fig. 4] et les appareils symétriques. Cette position dépend de la tangente.
- L'appareil comprend [Fig. 4] :
 - une pièce d'enclenchement - 1 - fixée sur le rail contre-aiguille de l'aiguille courbe,
 - une agrafe d'enclenchement - 2 - mobile autour d'un axe et fixée sur l'aiguille courbe par une patte d'articulation - 3 -,
 - une bielle de raccord - 4 - comportant le dispositif d'agrafage et assurant la liaison avec l'aiguille ouverte,
 - les tringles d'écartement - 5 -, sont des tringles à coulisse.

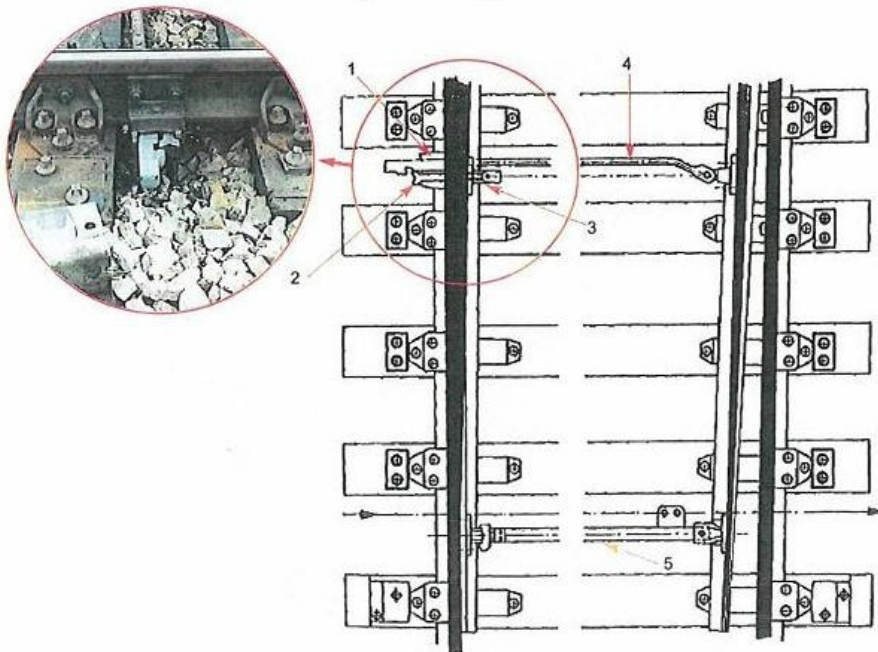


Fig. 4 - Montage d'un calage à agrafe sur un branchement à déviation

61

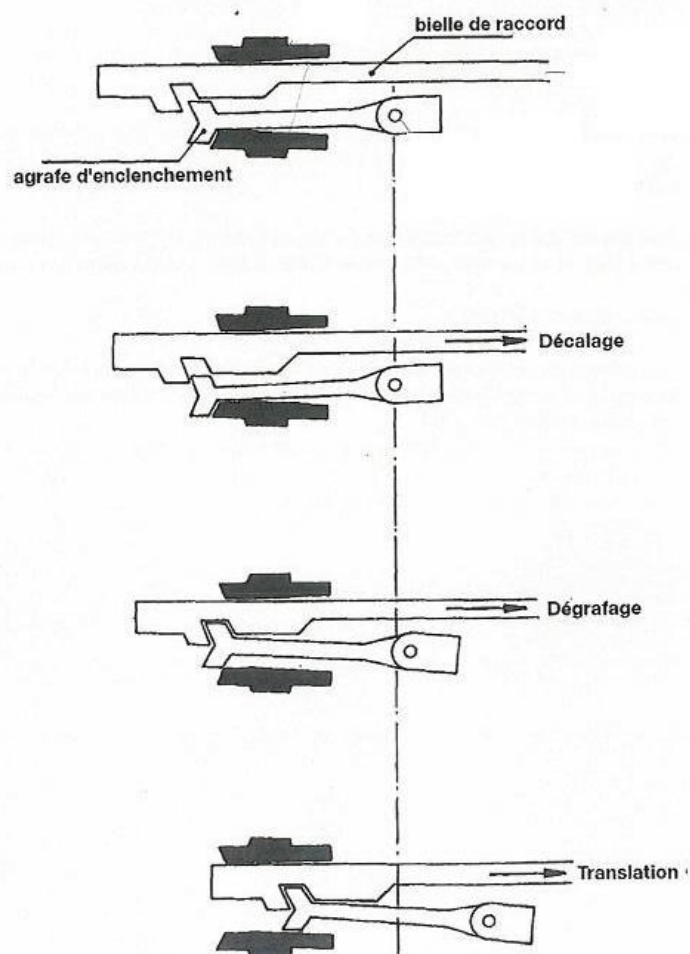
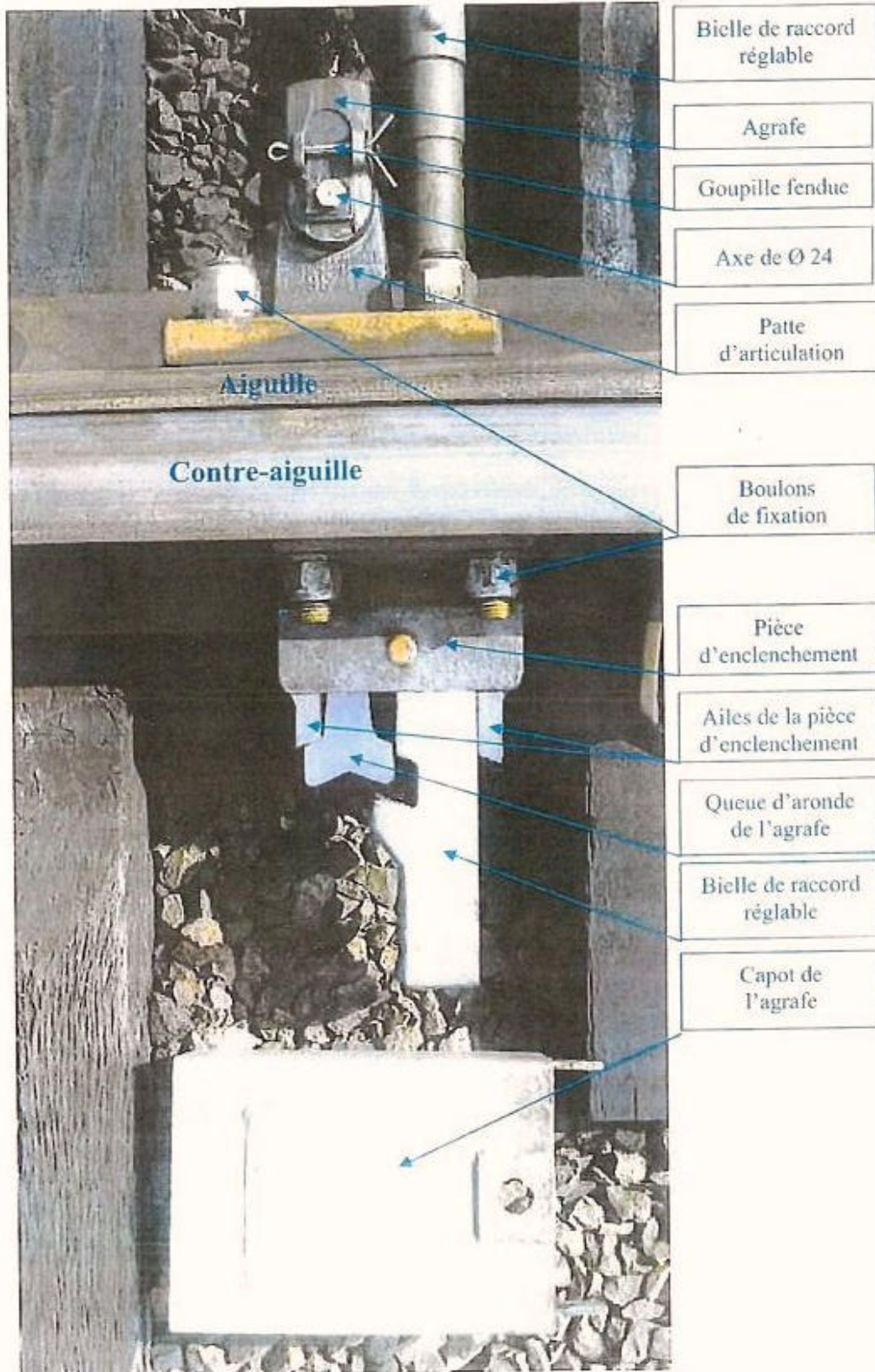


Fig. 5 - Calage à agrafe. Principe de fonctionnement

Identification des pièces du calage talonnable à agrafe

Vue de dessus



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

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

