

**RAPPORT
D'ENQUÊTE TECHNIQUE**
sur le déraillement
d'une rame du RER B
survenu le 24 juin 2020
à proximité de la gare
de Denfert-Rochereau (75)
Octobre 2022

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. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. 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.

Glossaire

- **AdV** : Appareil de voie
- **BS** : Boîtier de signalisation
- **CCU** : Centre de commande unique
- **CRT** : Compte-rendu de travail
- **DA** : Destruction automatique
- **FC** : Fiche de contrôle
- **IPCS** : Installation Permanente de Contre Sens
- **ORE** : Office de Recherche et d'Essais
- **PCC** : Poste de Commandement Centralisé
- **PRA** : Pointe de l'aiguille
- **RATP** : Régie Autonome des Transports Parisiens
- **RER** : Réseau Express Régional
- **SNCF Réseau** : Gestionnaire d'infrastructure du réseau ferré national
- **VCC** : Verrou Carter Coussinet
- **VSC** : Visites de Sécurité Cycle
- **VSR** : Visites de Sécurité Renforcé

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur le déraillement d'une rame du RER B survenu le 24 juin 2020 à proximité de la gare de Denfert-Rochereau (75)

N° ISRN : EQ-BEAT—22-7--FR
Affaire n° BEATT-2020-05

Proposition de mots-clés : déraillement, aiguillage, montée de roue, RER

Synthèse

Le 24 juin 2020 le train composé des rames RER MI79 n° 28188 et n° 28116 (mission PAPO94) stationne sur la voie 3 de la gare Denfert-Rochereau.

À 18 h 47 min il repart à vide pour effectuer un service voyageurs. Le poste d'aiguillage trace l'itinéraire (voie 3 vers voie 1), le signal s'ouvre et le train part. La vitesse reste faible (21 km/h pour 30 maxi).

Moins de deux minutes plus tard, lors d'un changement de voie le train déraile au passage de la pointe de l'appareil de voie n° 4621 disposé à droite : le premier essieu du bogie avant de la 6^e voiture déraile par montée de roue sur l'aiguille gauche de l'appareil de voie ; le second essieu déraile avant la pointe de cœur de l'appareil de voie.

Plus loin, lors du franchissement de l'aiguille de l'appareil de voie n° 4623, l'aiguille étant disposée à gauche, les roues gauches déraillées détruisent le moteur de l'aiguille avec sans doute une action sur la tringlerie : l'aiguille se translate à droite.

Le bogie arrière de la 6^e voiture et les essieux qui suivent (voiture 7) partent alors à droite entraînant le déraillement de 4 autres essieux par ripage.

Lors du déraillement, un poteau caténaire est percuté et le dernier essieu de la voiture 7 déraile. La disjonction électrique consécutive à la chute du poteau caténaire arrête le train.

Sept essieux se trouvent finalement en dehors des rails.

Le déraillement est dû à un défaut de l'interface rail-roue au droit de l'appareil de voie n° 4621.

Analyse des causes et recommandations

Les opérations de maintenance des bogies et de l'infrastructure ferroviaire ont respecté les référentiels définis et appliqués par la RATP : la périodicité des opérations et les critères techniques.

Un nombre important de constatations, d'investigations, de mesures a été réalisé sur les bogies du train accidenté, sur l'infrastructure ferrée complété par des modélisations de l'interface rail-roue et la circulation d'un train instrumenté. Cependant il n'est pas possible de décrire avec certitude les phénomènes qui ont conduit au déraillement.

Tout au plus les facteurs contributifs ont été listés dont la concomitance est sans doute à l'origine du déraillement par montée de roue :

- le profil de la roue (bourelet) ayant déraillé ;
- la géométrie et l'usure de l'aiguille ;
- un train à vide.

La géométrie des voies (itinéraire en « S ») a pu générer de légers mouvements de caisse. Ces mouvements de caisse, qui ne sont pas la cause principale de la montée de roue, ont pu la favoriser.

Et sans que l'on puisse l'affirmer, la lame de l'aiguille de l'aiguillage n° 4621 était peut-être légèrement décollée, sans un « décontrôle » de l'aiguille, et ainsi a favorisé la montée de roue.

En l'absence de plus amples explications sur le déraillement du 24 juin 2020, une démarche préventive visant à éviter le renouvellement d'un tel événement a été mise en œuvre par la RATP et consiste :

- à surveiller le profil des roues et l'apparition des bourrelets sur les roues en particulier, des bogies des rames du RER B ;
- et à opérer une maintenance corrective selon des critères de dimension à définir.

Les procédures de contrôle et de maintenance des aiguilles doivent être également enrichies : dès que des marques de traces de roue sont détectées avant la pointe mathématique d'aiguille (PMA), un diagnostic doit être établi et les mesures pour éliminer les contacts roue/rail dans cette zone mises en œuvre.

En parallèle, les investigations afin de comprendre les phénomènes qui conduisent à la formation des bourrelets sur les roues des rames RER MI79 pourraient être poursuivies.

SOMMAIRE

SYNTHÈSE.....	1
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	5
1.1 - Les circonstances de l'accident.....	5
1.2 - Le bilan de l'accident, les réparations.....	6
1.3 - Les mesures d'exploitation prises après l'accident.....	7
1.4 - L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	7
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	8
2.1 - La ligne B du RER d'Île-de-France.....	8
2.2 - L'exploitation / régulation de la ligne B du RER.....	8
2.3 - L'infrastructure ferroviaire.....	9
2.3.1 - Le profil de la voie empruntée par le RER.....	10
2.3.2 - L'AdV où s'est produit le déraillement.....	10
2.3.3 - La maintenance de l'infrastructure ferroviaire : l'AdV n° 4621.....	11
2.4 - Les matériels roulants circulant sur la ligne B.....	11
2.4.1 - Les types de trains circulant sur la ligne B.....	11
2.4.2 - La maintenance des trains.....	12
3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	13
3.1 - Les résumés des déclarations et témoignages.....	13
3.1.1 - Le conducteur de la rame ayant déraillé (mission PAPO94).....	13
3.1.2 - Le chef de régulation.....	13
3.1.3 - L'adjoint (en renfort) au chef d'aiguillage de Denfert-Rochereau.....	14
3.1.4 - Les retranscriptions des échanges enregistrés.....	15
3.1.5 - L'examen des données de l'enregistreur de bord du train.....	15
3.2 - Le fonctionnement de l'AdV n° 4621.....	16
3.3 - Les traces de roues sur l'infrastructure.....	17
3.4 - Les roues déraillées.....	17
3.5 - Synthèse des premières constatations : le déroulé chronologique de l'accident..	17
3.6 - La météorologie le jour de l'accident.....	19
4 - PRÉAMBULE SUR LES CONDITIONS DES MONTÉES DE ROUES.....	20
5 - LES PREMIÈRES INVESTIGATIONS POST-DÉRAILLEMENT MENÉES SUR LE MATÉRIEL ET L'INFRASTRUCTURE.....	22
5.1 - L'analyse des traces visibles sur l'aiguille de l'AdV n° 4621.....	22

5.1.1 - Les traces sur les traverses.....	22
5.1.2 - Le relevé des traces de roues sur l'aiguille de l'AdV n° 4621.....	23
5.1.3 - Synthèse des traces observées : la montée de la roue dérailleuse.....	26
5.2 - Le contrôle des bogies avant le déraillement.....	27
5.2.1 - Le contrôle des roues.....	27
5.2.2 - Vérification de l'écartement des faces internes des bogies (24 février 2020).....	29
5.2.3 - Suspension du bogie.....	30
5.3 - La maintenance de l'infrastructure ferroviaire : l'AdV n° 4621.....	30
5.4 - Surveillance de l'AdV n° 4621.....	31
5.5 - Synthèse des premières constatations.....	31
6 - LES INVESTIGATIONS MENÉES APRÈS LE DÉRAILLEMENT SUR LE MATÉRIEL ROULANT ET L'INFRASTRUCTURE.....	32
6.1 - Train d'essai avant la reprise de la circulation sur l'AdV n° 4621.....	33
6.2 - Les roues du bogie dérailleur après le déraillement.....	33
6.2.1 - Relevé du profil des roues.....	33
6.2.2 - L'analyse des roues des matériels de la ligne B du RER.....	35
6.2.3 - L'analyse des bourrelets de roue : la déformation par fluage.....	36
6.2.4 - La formation des bourrelets de roue.....	37
6.2.5 - La liaison caisse-bogie.....	38
6.3 - Les investigations sur l'infrastructure.....	39
6.3.1 - Le relevé de la géométrie des voies dans la zone de déraillement.....	39
6.3.2 - Expertise de l'aiguille gauche.....	40
6.3.3 - Analyses sur les appareils de voie analogues.....	40
6.4 - Le contact rail/roue au niveau de l'AdV.....	40
6.4.1 - Le contact rail/roue dans la zone de déraillement : le frottement.....	40
6.4.2 - Le contact rail/roue au niveau de l'appareil de voie.....	41
6.5 - Simulations numériques.....	43
7 - ANALYSE DES CAUSES ET RECOMMANDATIONS.....	45
ANNEXES.....	47
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	48
Annexe 2 : Examen des données de l'enregistreur de bord du train.....	49
Annexe 3 : Cas similaires de déraillement par montée de roue.....	50
Annexe 4 : Règlement général sur la protection des données.....	54

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Les circonstances de l'accident

Le 24 juin 2020, le chef de régulation du Poste de commandement centralisé (PCC) de Denfert-Rochereau prend son poste entre 18 h 30 min et 18 h 40 min (peu avant le déraillement). Ni ce jour-là, ni la veille, il ne constate d'anomalie aux passages des rames sur l'appareil de voie (Adv) n° 4621.

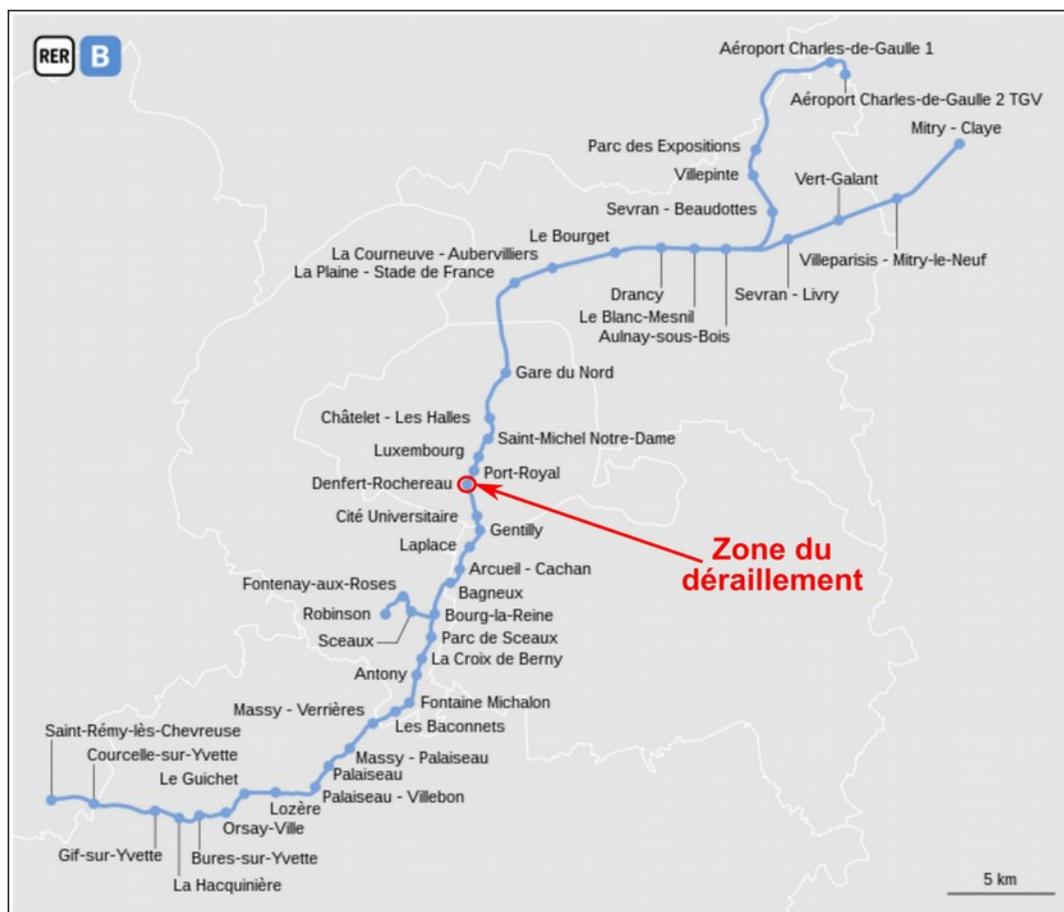


Figure 1 : carte des liaisons du RER B

Une mission en direction de Saint-Rémy-lès-Chevreuse a été annulée. Un train disponible quai 3 de la station Denfert-Rochereau a été choisi pour réaliser la mission PAPO94 en remplacement. Il est composé de deux rames comportant chacune 4 voitures :

- en tête la rame MI79 n° 28188 rame menante ;
- en queue, la rame MI79 n° 28116, rame menée.

Le conducteur rejoint la rame 3 ou 4 minutes avant le départ.

Il met en service la cabine, l'aiguilleur du poste d'aiguillage de Denfert l'appelle. Il lui confirme qu'il est prêt.

À 18 h 47 min il part à vide, fait les essais dynamiques de freins. Le poste d'aiguillage trace l'itinéraire de la voie 3 vers D3 (voie 1). Le signal s'ouvre et le train part. Sa vitesse reste faible, 21 km/h pour une vitesse maximale de 30 km/h sur cette section.

À 18 h 48 min, lors du mouvement de la voie 3 vers la voie 1, le train déraille au passage de l'appareil de voie (AdV) n° 4621 disposé et verrouillé à droite.

- la première rame passe l'appareil de voie sans dérailer ;
- la seconde rame voit la roue gauche du premier essieu du premier bogie de la 2^e voiture effectuer une montée sur le rail après la pointe de l'aiguille, avant PRA + 70 cm ;
- le second essieu du même bogie déraille à proximité de la pointe de coeur ;
- au passage de l'aiguille de l'AdV n° 4622, les roues droites déraillées sont guidées entre aiguille normalement ouverte et sa contre-aiguille ;
- au franchissement de l'aiguille suivante (n° 4623), disposée initialement à gauche (continuité de l'itinéraire sur la voie 1), les roues gauches déraillées détruisent le moteur de l'aiguille avec sans doute une action sur la tringlerie : sous l'effort l'aiguille translate à droite ;
- le bogie arrière de la 6^e voiture et le reste du train partent à droite, 4 essieux déraillent alors par ripage ;
- un poteau caténaire est percuté et le dernier essieu de la voiture 7 déraille.

Sept essieux se trouvent finalement en dehors des rails.

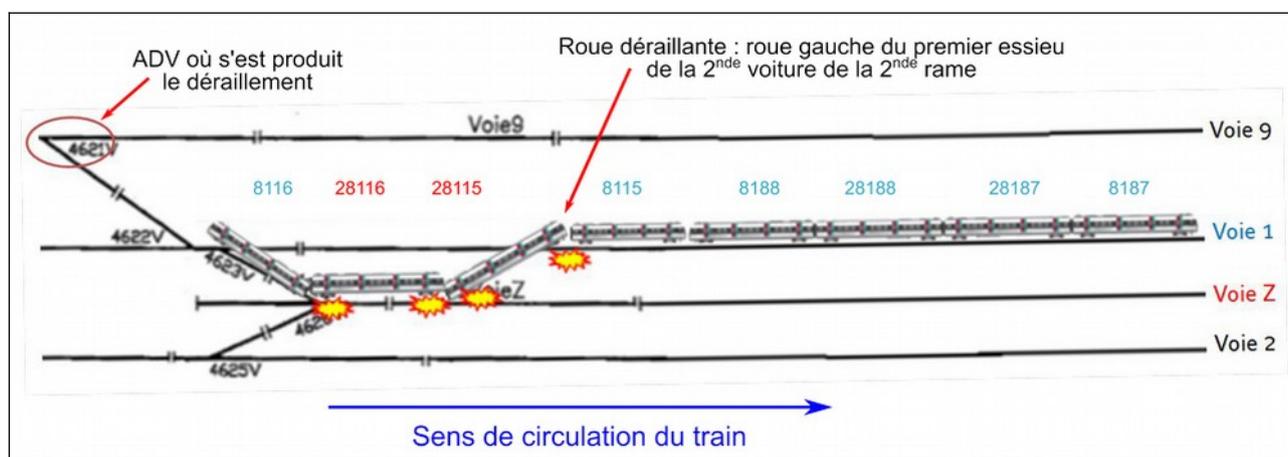


Figure 2 : schéma de la position des rames après déraillement

Un poteau caténaire est couché par la 6^e voiture qui roule « en crabe ». Le train est alors arrêté par la chute du poteau caténaire, chute ayant entraîné la disjonction de l'alimentation électrique.

Un train croiseur (mission IDRE05) confirme le déraillement au chef de régulation.

1.2 - Le bilan de l'accident, les réparations

L'accident n'a pas causé de blessé, le train circulait à vide et à faible vitesse.

Deux voitures sont endommagées. Le relevage des bogies a été effectué par la RATP du 24 au 26 juin, et le train a pu être remis le 26 jusqu'à Massy avec la mise en place de deux charriots sous bogie.

Sur l'infrastructure, quatre AdV sont endommagés, ainsi que deux moteurs d'appareil de voie et des équipements annexes. Un détecteur de boîte chaude est hors service.

Des équipements d'alimentation électrique sont également endommagés : support couché à la base avec l'ensemble de son armement également détruit, rupture de 21 pendules, déformation du rappel mécanique et rupture des connexions equipotentielles, écrasement de nombreux câbles, dégradations des couvercles de caniveaux sur environ 50 m.

La remise en état de l'infrastructure a été réalisée par la RATP jusqu'au 28 juin :

- remise en état de 150 mètres de rail et des 4 AdV ;
- bourrage de la voie 1 et des appareils de voie ayant subi un ripage ;
- réalisation du massif caténaire, réparation et réglage de la caténaire ;
- remise en état des circuits électriques et des équipements de signalisation ;
- réglages et essais de sécurité et de bon fonctionnement.

1.3 - Les mesures d'exploitation prises après l'accident

Différentes mesures d'exploitation ont été prises après le déraillement, tenant compte de l'indisponibilité de l'infrastructure endommagée et visant à permettre la réalisation des réparations et à assurer la continuité du service de transport : les cadences sur les branches sud et nord ont été diminuées. Des gares ont été fermées entre Port-Royal et Cité Universitaire. Des navettes par bus entre Denfert et Port-Royal ont été mises en place lorsque les gares intermédiaires n'étaient pas desservies par le RER.

L'exploitation ferroviaire sur la totalité de la ligne a repris le 28 juin 2020 à 17 h, la réparation de l'infrastructure étant terminée.

Le départ des trains avec voyageurs depuis le quai 3 de la gare Denfert-Rochereau a été interdit jusqu'à ce que les causes du déraillement soient éclaircies.

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

Au vu des circonstances de cet accident, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert, le 25 juin 2020, une enquête technique en application des articles L. 1621-1 à L. 1622-2 du Code des transports.

Un enquêteur du BEA-TT s'est rendu sur place le lendemain du déraillement afin d'effectuer les premières constatations.

Les enquêteurs se sont ensuite rendus au centre de maintenance RATP des trains de Massy pour constater les dégâts sur les voitures de la rame.

Ils ont interviewé le chef de régulation, l'adjoint au chef de poste d'aiguillage de Denfert et le conducteur du train déraillé.

Ils ont pu disposer de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

2 - Contexte de l'accident

2.1 - La ligne B du RER d'Île-de-France

La ligne B du RER d'Île-de-France constitue une épine dorsale du réseau de transport francilien sur l'axe Nord-Sud. Elle compte 78 kilomètres de voies dont 40 exploités (gestion du trafic ferroviaire) par la RATP (au sud) et 38 exploités par SNCF (au nord). Elle dessert 47 gares et traverse les 8 départements franciliens.

La ligne comprend 4 branches :

- 2 au nord : vers Aéroport Charles de Gaulle et Mitry-Claye ;
- 2 au sud : vers Saint-Rémy-lès-Chevreuse et Robinson.

Un tronç commun, Bourg-la-Reine – Aulnay-sous-Bois, relie les branches. Il doit être distingué du « tronçon central » qui désigne communément la partie parisienne de la ligne B comprise entre Cité Universitaire et Gare du Nord.

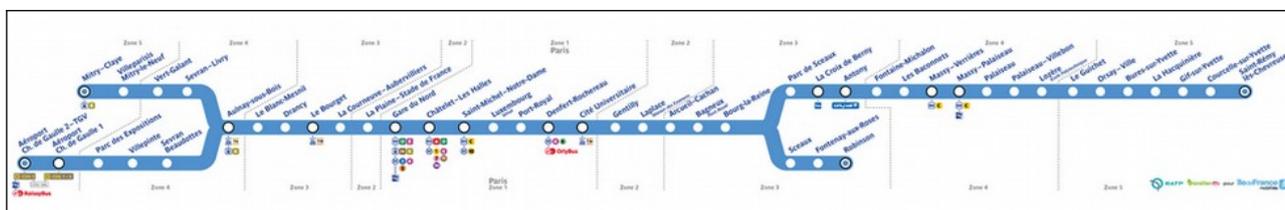


Figure 3 : plan des branches de la ligne du RER B

La partie sud de la ligne B où s'est produit le déraillement du 24 juin 2020, commence à la station Châtelet-Les-Halles jusqu'à celles de Saint-Rémy-lès-Chevreuse et de Robinson. Elle est formée en grande partie de l'ancienne « ligne de Sceaux » qui fut, sous sa forme initiale, inaugurée en juin 1846. La ligne reliait alors la station Denfert-Rochereau à une station située en face du marché du village de Sceaux. Divers propriétaires en ont ensuite assuré l'exploitation.

En 1964, la RATP devient l'unique exploitant de la ligne après le rattachement du tronçon Massy-Palaiseau – Saint-Rémy-lès-Chevreuse à son domaine.

En 1977, la ligne est prolongée jusqu'à Châtelet-Les Halles, pour l'interconnexion avec le réseau SNCF au nord de Paris. C'est la création de l'actuelle ligne B du RER.

Le trafic de cette ligne est de 500 trains environ par jour qui transportent en moyenne 850 000 voyageurs et jusqu'à 1 000 000 les jours de forte fréquentation. En pointe, 20 trains circulent par heure.

2.2 - L'exploitation / régulation de la ligne B du RER

Les sociétés RATP, SNCF Réseau et SNCF Voyageurs exploitent la ligne depuis un Centre de Commande Unique (CCU) situé à Denfert-Rochereau : SNCF pour la circulation des trains dans la partie nord, RATP pour la partie sud, tunnel de la gare du nord vers Bourg-la-reine puis vers Saint-Rémy et vers Robinson. Le CCU regroupe depuis 2013 :

- les agents du Poste de Commandement Centralisé (PCC) de la RATP ;
- des agents SNCF du Centre Opérationnel Transilien.

L'accident a eu lieu sur la partie sud de la ligne B, partie exploitée par le PCC de la RATP pour la gestion de l'infrastructure et celle des opérations de transport : gestion des sillons, exploitation sous chantier et gestion du réseau électrique. Pour cette partie sud, en cas de sous-effectif au PCC, une délégation occasionnelle peut être donnée aux postes d'aiguillages pour la formation des tracés. Cette délégation peut être soit programmée soit mise en œuvre en urgence par le responsable de secteur.

Le 24 juin la délégation au poste d'aiguillage de Denfert avait été programmée.

2.3 - L'infrastructure ferroviaire

L'infrastructure ferroviaire où s'est produit le déraillement est située au sud de la gare Denfert-Rochereau.

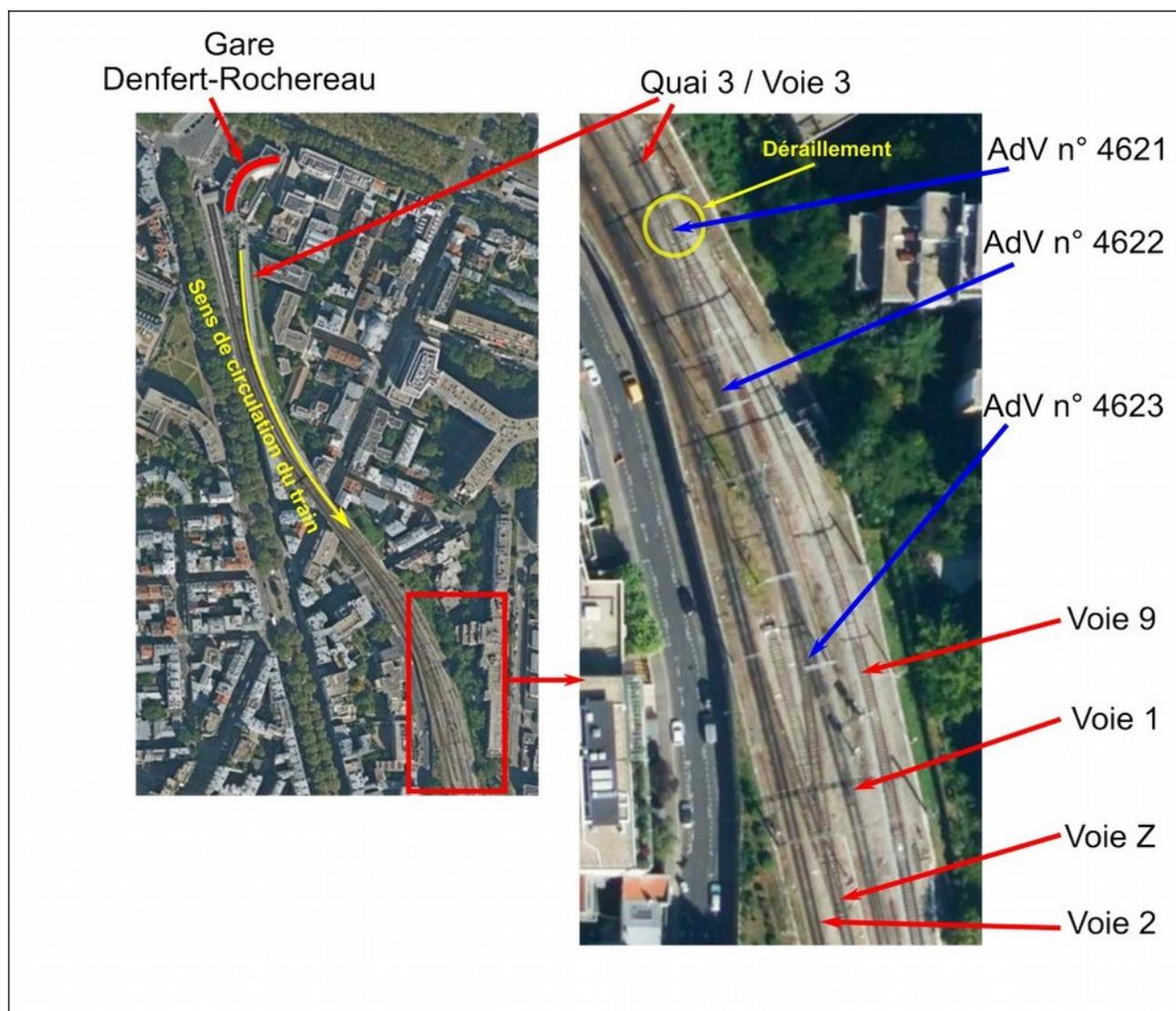


Figure 4 : photos aériennes Géoportail de la zone sud de la station Denfert-Rochereau

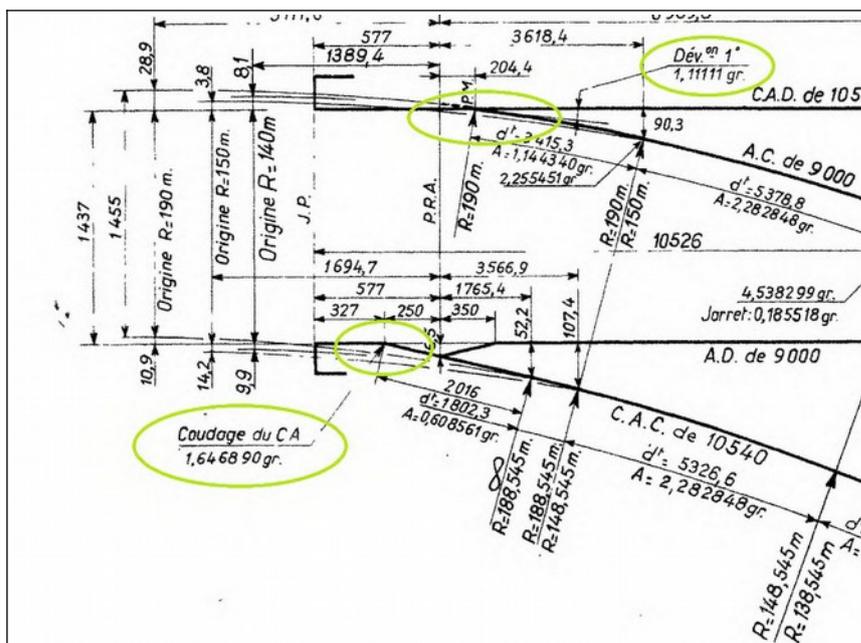


Figure 7 : détail de l'AdV n° 4621 en « tracé sécant »

Les caractéristiques géométriques de la zone où le déraillement s'est produit, avec des rayons faibles, résultent des contraintes de conception des changements de voies sur un linéaire réduit ; elles peuvent générer des mouvements de caisse importants.

2.3.3 - La maintenance de l'infrastructure ferroviaire : l'AdV n° 4621

L'infrastructure ferroviaire des RER fait l'objet d'inspections régulières, ainsi que d'opérations de maintenance.

Chacune des opérations d'inspection et de maintenance est détaillée dans les comptes rendus de travail (CRT). Lorsque ces activités nécessitent des relevés, ceux-ci sont rassemblés dans les fiches de contrôles (FC).

2.4 - Les matériels roulants circulant sur la ligne B

2.4.1 - Les types de trains circulant sur la ligne B

Les trains circulant sur la ligne B du RER sont des automotrices des séries MI79 et MI84. MI signifie que ce sont des Matériels permettant l'Interconnexion des réseaux RATP et SNCF ; « 79 » et « 84 » désignent respectivement le millésime de l'année d'initialisation du contrat de fourniture pour chaque type.

Chaque rame est constituée de deux motrices avec cabine de conduite, encadrant deux remorques. Les rames peuvent être couplées en unité multiple en associant indifféremment les deux séries.

Développée dans les années 1970 par la RATP et la SNCF, la rame MI79 a été le premier matériel d'interconnexion pour la ligne B du RER en Île-de-France.

La vitesse limite est de 120 km/h. Une rame mesure 104 m de longueur pour une masse de 205 tonnes. Le freinage est assuré par des freins à sabots et des freins à disque. Les bogies moteurs sont pourvus de freins à patins magnétiques.

Cette série a fait l'objet d'une rénovation complète entre 2010 et 2015. Les performances sont restées identiques. La masse est portée à 218 tonnes

Une rame rénovée a une capacité de 850 voyageurs, soit 1 700 voyageurs pour un train de deux éléments.

Le train accidenté (mission PAPO94) du 24 juin 2020 était composé de deux rames MI79 rénovées.

2.4.2 - La maintenance des trains

Le centre de Massy-Palaiseau réalise la maintenance des trains avec une partie vérification des organes du train, en particulier les bogies et une partie entretien curatif (centre de dépannage des trains), l'objectif étant alors de remettre les trains en service rapidement après des interventions de courte durée.

En complément des installations de Massy-Palaiseau, le centre de dépannage de Mitry-Claye permet de faire des diagnostics et du dépannage léger des trains.

Ces opérations de maintenance sont réalisées dans les ateliers de Massy-Palaiseau et de Mitry-Claye. Des agents de maîtrise de maintenance du matériel roulant sont également présents en support de l'exploitant au PCC de Denfert-Rochereau et au Pôle d'Appui Conduite Transilien de Gare du Nord.

Elles sont réalisées suivant la méthode et le découpage des Visites de Sécurité Cycle (VSC) et des Visites de Sécurité Renforcées (VSR).

Elles se décomposent en 8 Visites de Sécurité Cycle, numérotées de VSC1 à VSC8. Entre 2 VSC sont organisées 3 VSR.

Le découpage de la périodicité de la maintenance des trains est assuré par l'atelier et validé par le groupe technique de l'unité RER.

Les opérations de vérification régulières des bogies des trains concernent à la fois les roues et le fonctionnement du bogie.

3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - Les résumés des déclarations et témoignages

Les résumés des témoignages présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations, orales ou écrites, dont ils ont eu connaissance. Ils ne retiennent que les éléments qui paraissent utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des événements et pour formuler des recommandations.

3.1.1 - Le conducteur de la rame ayant déraillé (mission PAPO94)

Le conducteur est habitué aux rentrées et départs du quai 3 de la gare de Denfert. Le 24 juin, il n'a pas conduit la rame en stationnement quai 3, il l'a seulement rejointe trois ou quatre minutes avant le départ.

Ensuite il met en service la cabine, l'aiguilleur l'appelle, il confirme qu'il est prêt, il démarre et fait les essais dynamiques de freins.

La rame roule en vitesse imposée, atteint la vitesse de 20 km/h, la motrice passe l'AdV n° 4621 sans encombre, puis il ressent une secousse et le train s'arrête.

Le conducteur constate peu d'indications au boîtier de signalisation (BS) : simplement le voyant allumé : « disjoncteur ouvert » et 4 bogies inactifs. Le PCC l'appelle.

Après avoir refermé les disjoncteurs, il récupère 2 bogies en traction : le BS indique les 2 bogies actifs. Mais après avoir tenté de redémarrer, le train ne repart pas.

Il regarde à l'extérieur : à gauche sur la voie 9 et de l'autre côté voie Z, il constate que la rame est droite et ne signale rien d'anormal.

Le conducteur d'un train qui arrive en sens inverse (rame « croiseuse » sur la voie 2) fait une vérification en marche prudente et signale le déraillement.

3.1.2 - Le chef de régulation

Le chef de régulation travaille au sein de la RATP depuis 2011, et devient chef de la régulation du poste de Denfert en septembre 2015.

Le 24 juin, la délégation de l'exploitation de la partie sud de la ligne B aux postes d'aiguillage était programmée.

Le chef de régulation prend son poste peu avant le déraillement, entre 18 h 30 et 18 h 40 ; la fin du poste était prévue à 5 h 30. En poste la veille aux mêmes horaires, il n'a rien constaté d'anormal.

Au passage de consigne, il est informé que la SNCF a annulé une mission en direction de Saint-Rémy-lès-Chevreuse.

L'équipe précédente a décidé de remplacer cette mission. Une rame est disponible quai 3 de la station Denfert (cette rame devait initialement se rendre à Mitry).

Le chef du poste d'aiguillage donne le départ.

Une première alarme retentit : un témoin allumé indique une discordance d'aiguille, puis une seconde pour une disjonction d'intensité voies 1 et 2, le chef de régulation comprend que l'incident est sérieux.

La zone de circuit de voie étant indiquée comme occupée, il (le chef de régulation) pense qu'il s'agit d'un déraillement.

Il appelle le conducteur pour la levée de doute et lui demande de passer la tête côté droit pour vérifier l'état de la rame. Le conducteur un peu désorienté ne constate rien d'anormal.

Le chef de régulation appelle alors le chef de gare de Denfert pour faire part de sa suspicion de déraillement.

Il craint que le train déraillé perturbe le passage des trains sur les voies Z et 2, il refuse d'engager la voie 2 à Cité Universitaire.

Il prend contact avec le conducteur d'une rame qui arrive à la station Denfert en sens inverse de celui de la rame accidentée. Le conducteur de cette rame informe que la voie 2 est libre, et précise que le déraillement s'est produit voie 1 avec la voie Z engagée.

Le chef régulateur identifie les sections caténaïres à isoler : voies 1 et Z, il demande au conducteur de la rame accidentée de baisser les pantographes et il réalimente la voie 2 en IPCS (Installation Permanente de Contre-sens).

Il fournit toutes les informations sur le serveur technique et au coordinateur technique.

3.1.3 - L'adjoint (en renfort) au chef d'aiguillage de Denfert-Rochereau

Le renfort au chef de poste travaille à la RATP depuis 1994, d'abord sur les lignes de métro, il rejoint le RER B en tant qu'assistant affecté à des secteurs. Le jour du déraillement il termine sa semaine de travail : 6^e jour sur 6 et il intervient sur le secteur Nord : d'abord à la gare de Denfert puis au poste délégué de Denfert à 18 h 30 en tant que renfort de l'aiguilleur à la demande du chef de secteur.

À sa prise de fonction au poste d'aiguillage, il ne note rien de particulier, les tracés sont permanents et ne nécessitent pas ou très peu de manœuvre. La SNCF ayant annulé une mission pour Saint-Rémy-lès-Chevreuse, la régulation de la RATP décide de remplacer cette mission : une sortie d'une rame du quai 3 est prévue à 18 h 46, l'agent ne sait pas si la rame était déjà à quai. Le chef de régulation demande l'heure du départ de la rame au chef de poste.

Le conducteur de la rame répond à l'aiguilleur du CCU qu'il est prêt, l'itinéraire quai 3 (voie 3) vers D3 voie 1 est tracé.

L'agent fait alors une pause. Lorsqu'il redescend dans la salle du poste d'aiguillage, un voyant de disjonction est allumé, il suppose alors une discordance d'aiguille. Mais le chef de poste lui signale que l'incident est plus grave.

Sur le circuit de voie toute la zone est alors au rouge, il ne s'est pas immédiatement rendu compte que la voie 2 est restée au rouge.

D'après les échanges entendus par retour radio entre le PCC et le conducteur de la rame, il comprend que la rame a déraillé.

Le chef régulateur donne les consignes ; tous les itinéraires empruntant les 4 voies de la zone de la gare de Denfert sont condamnés. Les cabochons (dispositifs d'attention posés sur les boutons poussoirs de commande des itinéraires) sont posés sur le tableau de commande.

3.1.4 - Les retranscriptions des échanges enregistrés

Les échanges radio entre l'aiguilleur du PCC, le régulateur et les conducteurs des trains mission PAPO94 (train déraillé) et IDRE05 (train croiseur) ont été enregistrés. Les déclarations retranscrites plus haut sont tout à fait cohérentes avec les échanges enregistrés.

À 18 h 46 l'aiguilleur PCC demande au conducteur PAPO94 s'il est prêt au départ. Ce dernier confirme par deux fois. L'aiguilleur du PCC l'informe qu'il va tracer l'itinéraire.

Deux minutes plus tard à 18 h 48, le conducteur du train PAPO94 signale au chef de régulation que son train n'avance plus. Ce dernier lui demande de patienter et de lui rapporter les indications du BS du poste de conduite. Le conducteur du train PAPO94 répond que les disjoncteurs sont ouverts. Au chef de régulation qui lui demande de refermer les disjoncteurs, il répond que deux disjoncteurs restent ouverts et que deux bogies sont inactifs. Après réitération le constat reste le même. Le chef de régulation demande de reprendre la marche en marche prudente. Le conducteur PAPO94 répond qu'il ne parvient pas à faire repartir son train.

À 18 h 50 min le chef de régulation du PCC demande au conducteur du train IDRE05 de reprendre en marche prudente et de lui communiquer ce qu'il constate sur la voie Z.

Il demande ensuite au conducteur de la mission PAPO94 si son train avance. Ce dernier répond par la négative avec toujours deux bogies inactifs et un disjoncteur ouvert sur le BS. Toujours à la demande du régulateur, en regardant à l'extérieur voie Z, il dit ne rien constater d'anormal et ne pas pouvoir voir l'état des essieux.

Le conducteur du train IDRE05 arrivé à proximité et remontant vers l'arrière du train PAPO94 constate le déraillement, la dernière voiture ayant fait une bivoie engage le gabarit de la voie Z mais pas celui de la voie 2.

3.1.5 - L'examen des données de l'enregistreur de bord du train

Les données de l'enregistreur de bord EPE¹ ont été exploitées : voir annexe 2.

La vue suivante montre un extrait des données issues de l'enregistrement de la rame le jour de l'accident.

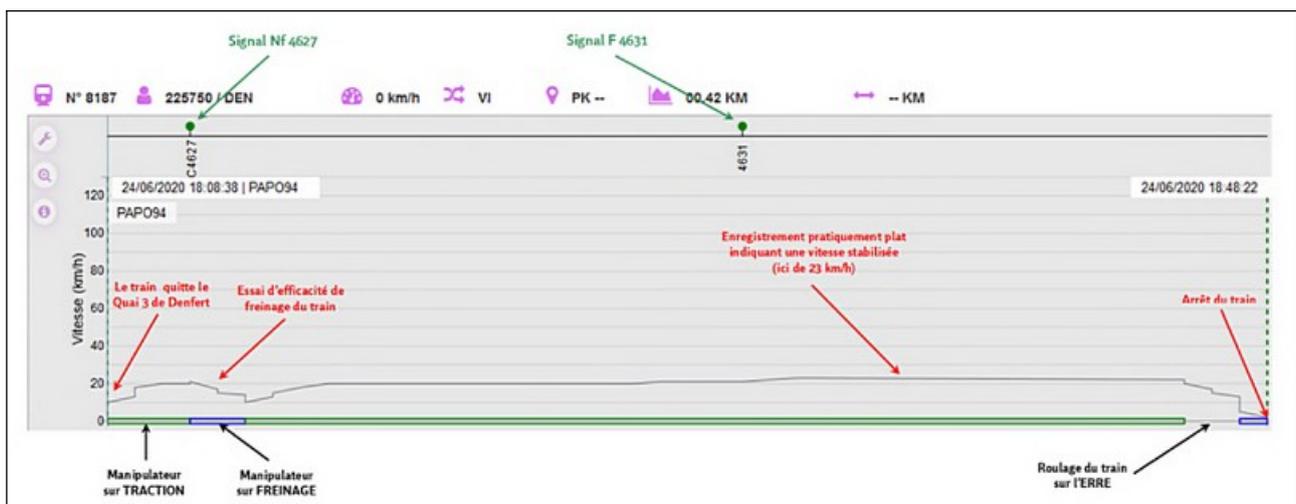


Figure 8 : enregistrement des vitesses

1 EPE : Enregistrement des Paramètres d'Exploitation ; c'est un dispositif qui enregistre des informations relatives au fonctionnement et aux différentes actions sur les commandes effectuées dans la rame.

L'analyse de ces données permet de décrire l'évolution de la vitesse du train avant et lors du déraillement :

- Le conducteur évoluait en conduite manuelle en mode vitesse imposée (VI) au moment de l'incident.
- Après avoir effectué les essais statiques, le conducteur met son train en mouvement à 18 h 47 min 02 s et effectue les essais en dynamique afin de tester l'efficacité du freinage : montée en vitesse jusqu'à 20 km/h, puis un freinage de service et décélération du train à 10 km/h avant une reprise de traction.
- À 18 h 47 min 12 s et 18 h 47 min 52 s, le conducteur franchit réglementairement les signaux Nf 4627 et F4631 (voir schéma des voies figure 5) à la vitesse de 21 km/h, respectivement aux indications « Rappel 30 » et « Voie libre ».
- L'examen des données de l'enregistreur de bord montre que le train aborde la pointe de l'AdV n° 4621 à la vitesse de 20 km/h, puis environ 70 m après, la vitesse augmente très légèrement à 21 km/h.
- À 18 h 47 min 52 s, au franchissement du signal F4631, soit 104 m après avoir abordé l'AdV n° 4621 (donc approximativement après le passage de la première rame), la vitesse augmente jusqu'à 23 km/h sur une distance d'environ 21,5 m.
- La vitesse du train au moment du déraillement est de 23 km/h.
- À 18 h 48 min 16 s, à la vitesse de 22 km/h, le conducteur ramène le manipulateur de traction freinage sur zéro.
- À 18 h 48 min 20 s, le freinage d'urgence est déclenché à la vitesse de 13 km/h.
- À 18 h 48 min 24 s, le train s'arrête, ce qui correspond à une décélération de $0,9 \text{ m/s}^2$, la montée en pression du frein d'urgence n'a pas eu le temps de se faire complètement.

En synthèse, le train était en légère accélération juste avant le déraillement qui s'est produit à la vitesse stabilisée de 23 km/h.

3.2 - Le fonctionnement de l'AdV n° 4621

Les constatations visuelles faites après l'accident permettent d'attester que l'aiguillage a fonctionné normalement : aiguillage en position déviée à Droite, lame Gauche collée à la contre-aiguille gauche. Le verrou de pointe (VCC) est intact et le contrôle impératif de l'aiguillage est donné.

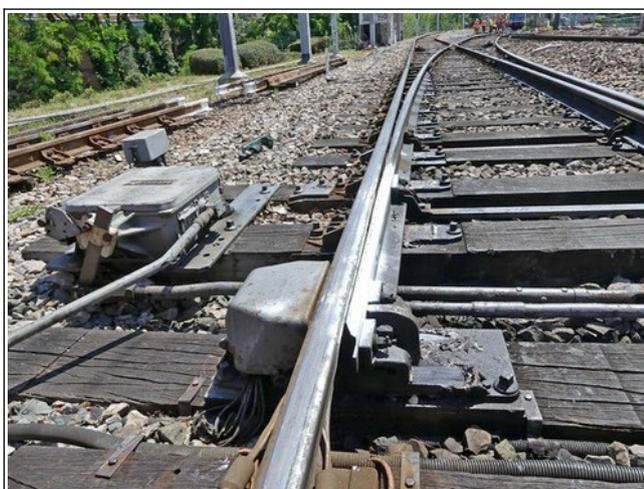


Figure 9 : AdV n° 4621 après le déraillement

3.3 - Les traces de roues sur l'infrastructure

Les premières constatations et analyses de traces de roues réalisées juste après le déraillement ont permis de conclure rapidement à un déraillement dû à une montée de roue au droit de l'AdV n° 4621 : des poinçonnements sur la pointe de l'aiguille, symptomatiques de contacts verticaux localisés et intenses, correspondant au passage d'une ou plusieurs roues, sont visibles après la pointe de l'aiguille.

Ces traces ont été analysées plus finement par la suite : voir chapitre 5.1.

3.4 - Les roues déraillées

Les roues déraillées listées juste après déraillement sont :

- la roue gauche du premier essieu du premier bogie de la voiture 6 (2^e voiture de la seconde rame), la première roue déraillée ;
- Les 6 essieux qui suivent : du deuxième essieu du premier bogie de la voiture 6 (même bogie que la « roue dérailleuse ») jusqu'à l'avant-dernier bogie de la voiture 7 sont déraillés ;
- Les autres essieux, dernier essieu de la voiture 7 et les 4 essieux de la voiture 8 sont restés sur les voies.

3.5 - Synthèse des premières constatations : le déroulé chronologique de l'accident

À partir des constatations, de la retranscription des échanges, ainsi que des témoignages recueillis, le déroulement de l'accident peut être résumé ainsi :

Après que le conducteur a réalisé les essais statiques de la rame à 18 h 47, le train composé des deux rames RER B MI79 n° 28188 et 28116 part de la gare Denfert-Rochereau, à vide pour effectuer un service voyageurs : le poste d'aiguillage trace l'itinéraire de la voie 3 vers voie 1, le signal s'ouvre et le train part.

Le conducteur effectue les essais dynamiques pour tester l'efficacité du freinage.

La conduite se fait à vitesse imposée faible : 20 km/h pour une vitesse maximum autorisée de 30 km/h.

À 18 h 47 min et 52 s, moins d'une centaine de mètres après avoir abordé la pointe de l'aiguille de l'AdV n° 4621, la vitesse augmente très légèrement pour atteindre 23 km/h.

Vers 18 h 48 min 16 s, peu après le passage sans encombre de la motrice sur l'aiguille de l'AdV n° 4621, le conducteur ressent une secousse. La vitesse du train diminue.

À 18 h 48 min 24 s le train s'arrête :

- la première rame (n° 28188) a passé les appareils de voie sans dérailler ;
- la roue gauche du premier essieu du premier bogie de la 6^e voiture (2^e voiture de la seconde rame) effectue une montée sur le rail après la pointe de l'aiguille de l'AdV n° 4621, et déraille ;
- le deuxième essieu du même bogie déraille ensuite en amont de la pointe de cœur ;
- au passage de l'aiguille de l'AdV n° 4622, les roues droites des essieux déraillés sont guidés entre l'aiguille ouverte et la contre-aiguille ;

- au franchissement de l'aiguille suivante (n° 4623), disposée initialement à gauche (continuité de l'itinéraire sur la voie 1), les roues gauches déraillées détruisent le moteur de l'aiguille avec sans doute une action sur la tringlerie : sous l'effort l'aiguille translate à droite ;
- le bogie arrière de la 6^e voiture et le reste du train partent alors à droite, 4 essieux déraillent alors par ripage ;
- un poteau caténaire est percuté et le dernier essieu de la voiture 7 déraille.

Au final, sept essieux sont déraillés



Figure 10 : vues de l'arrière du train déraillé et de la voie 1 affectée

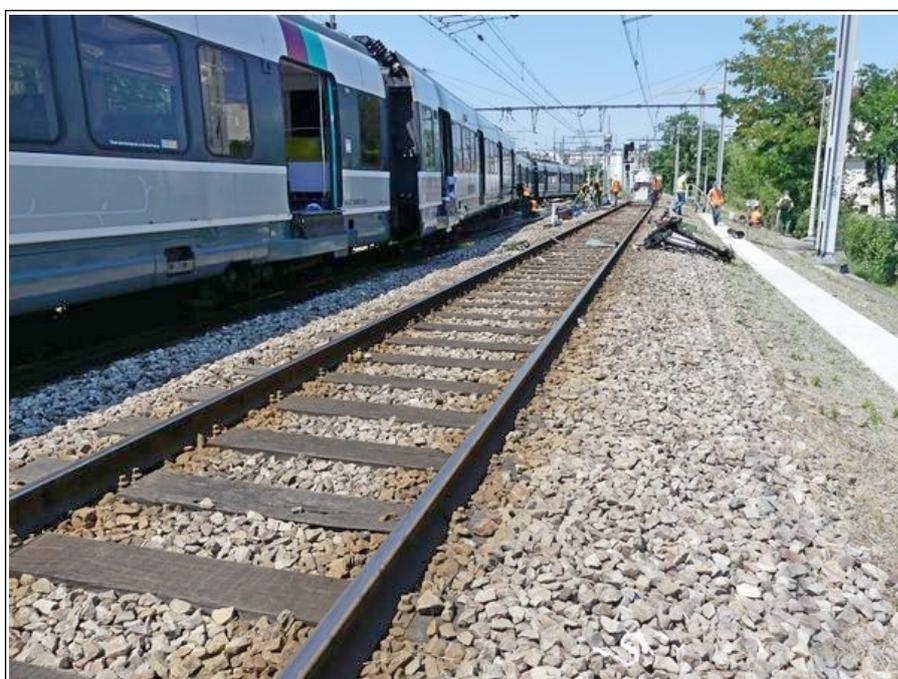


Figure 11 : voitures déraillées (vue prise dans le sens inverse de la circulation)

Le conducteur constate peu d'indications sur le BS : disjoncteurs ouverts et 4 bogies inactifs en traction.

Au PCC une première alarme se déclenche qui signale une discordance d'aiguille, puis une disjonction d'intensité est constatée voies 1 et 2 : les disjoncteurs de la voie se sont ouverts. Le chef de régulation suppose qu'il s'agit d'un déraillement et appelle le conducteur du train pour la levée de doute.

À 18 h 48 min, appelé par le chef de régulation, le conducteur signale alors que les disjoncteurs du train sont ouverts. Malgré deux tentatives pour réarmer les disjoncteurs à la demande du chef régulateur, deux des 4 bogies restent inactifs. Le train ne repart pas.

À 18 h 50 min, le chef de régulation appelle le chef de gare de Denfert pour faire part de sa suspicion de déraillement. Craignant que le train déraillé perturbe le passage des trains sur la voie Z, il refuse d'engager la voie 2 à Cité Universitaire.

Il donne par radio des consignes aux autres conducteurs : marche prudente sur la voie 2 au sud de la station Denfert.

Toujours à la demande du chef de régulation, le conducteur regarde à l'extérieur : sur la voie 9 et de l'autre côté voie Z il constate que la rame est droite et ne signale rien d'anormal.

Le chef de régulation prend alors contact avec le conducteur de la rame qui arrive à la station Denfert en sens opposé à la rame accidentée. Ce dernier l'informe que le déraillement s'est produit voie 1 avec la voie Z engagée et précise que la voie 2 est libre.

Le chef de régulation identifie les sections à isoler : voies 1 et Z, il demande au conducteur de la rame déraillée de baisser les pantographes et il réalimente la voie 2 en IPCS.

Il fournit toutes les informations sur le serveur technique et au coordinateur technique.

3.6 - La météorologie le jour de l'accident

La semaine du 22 au 28 juin est particulièrement chaude à Paris. Le jour de l'accident, mercredi 24 juin dès le début de journée, les températures sont élevées. De 18 °C à l'aube, la température augmente peu à peu pour parvenir à 26 °C vers midi et 33 °C en milieu d'après-midi. Le vent particulièrement sec arrive de l'est et varie entre 10 et 15 km/h.

4 - Préambule sur les conditions des montées de roues

Les roues d'un train sont soumises à des efforts transversaux variables ou aléatoires liés, notamment, à la géométrie de la voie et aux mouvements du véhicule ou du bogie, et au contact roue/rail.

La résultante de ces efforts transversaux subis par une roue est appelée force. Si cette force est élevée et dirigée vers l'extérieur de la voie, et si la charge verticale qui s'applique sur la roue est faible, le boudin de la roue peut progressivement 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 caractérisé par le rapport entre la force transversale et la force verticale « 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'exerce fait aussi pivoter le bogie. Les efforts transversaux subis par la roue guidante en entrée de courbe sont fonction notamment 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.

Une montée de roue est engendrée par un rapport trop important entre les forces verticales et horizontales exercées sur la roue. Ce rapport doit rester inférieur à 1,2 pour des vitesses lentes lorsque l'angle du boudin, par rapport à l'horizontale (β), est de l'ordre de 70° (angle ORE²).

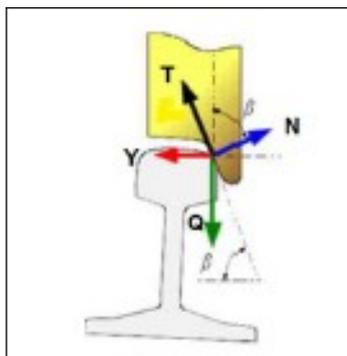


Figure 12 : forces du contact rail/roue

Quelques facteurs d'influence sur le rapport des forces Y/Q favorisent la montée de roue :

- un train vide est plus sensible aux montées de roue qu'un train chargé (force Q faible), dans une courbe si le dévers est faible (Nota bene : il est nul dans les AdV de tangente 0,167 comme l'AdV n° 4621) les roues sont soumises à un effort transversal dû à la force centrifuge subie par le véhicule, effort transversal qui peut favoriser la montée de roue ;
- lors du franchissement d'un aiguillage, lorsque l'aiguille présente une usure latérale importante (angle de contact faible inférieur à 40°), il y a risque de montée du boudin d'une roue sur celle-ci, puis sur la contre-aiguille.

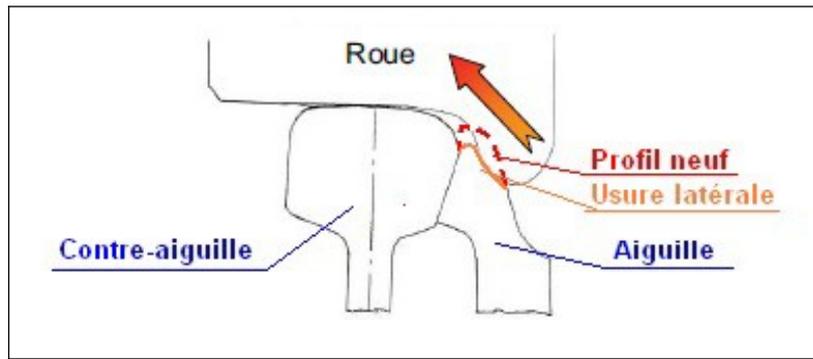


Figure 13 : risque de montée de roue augmentée si l'aiguille est usée

L'interaction bogie/rail est complexe, le nombre de paramètres physiques qui permettrait un calcul des forces est important, plusieurs interagissant. Le contact roue/rail peut être perturbé par les mouvements de caisse des voitures horizontaux mais surtout de rotation, tangage, roulis et lacet.

Aussi des méthodes empiriques ont été mises au point qui encadrent des paramètres géométriques tels que le profil des roues, l'angle d'attaque roue/rail (voir ORE-C70).

Des méthodes par modélisation ont également été développées. Complexes et ne pouvant traduire tous les phénomènes physiques, elles permettent cependant d'évaluer l'influence de certains paramètres et d'éliminer des analyses ceux qui ne montrent pas ou peu d'influence sur la montée de roue.

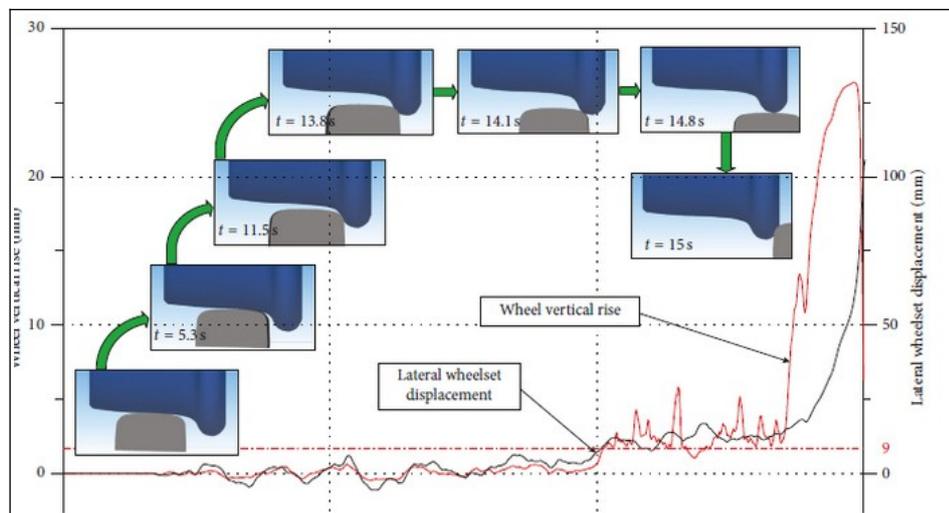


Figure 14 : illustration des différentes phases d'une montée de roue

La figure ci-dessus présente les déplacements verticaux et horizontaux de la roue au fur et à mesure de la montée de roue, jusqu'au déraillement .

5 - Les premières investigations post-déraillement menées sur le matériel et l'infrastructure

Ces premières investigations ont eu pour objectif de déceler les défauts sur les matériels et infrastructure ayant pu être des facteurs causaux du déraillement par montée de roue.

5.1 - L'analyse des traces visibles sur l'aiguille de l'AdV n° 4621

5.1.1 - Les traces sur les traverses

Les traces de passages de roues sur les traverses sont visibles lorsque l'aiguille de l'AdV n° 4621 s'écarte du rail gauche à environ 10 m de la pointe de l'aiguille (PRA).

La dernière butée entre les lames de l'aiguillage et les contre-aiguilles a été cassée, les entretoises sont marquées par le passage des roues de l'essieu déraillé.

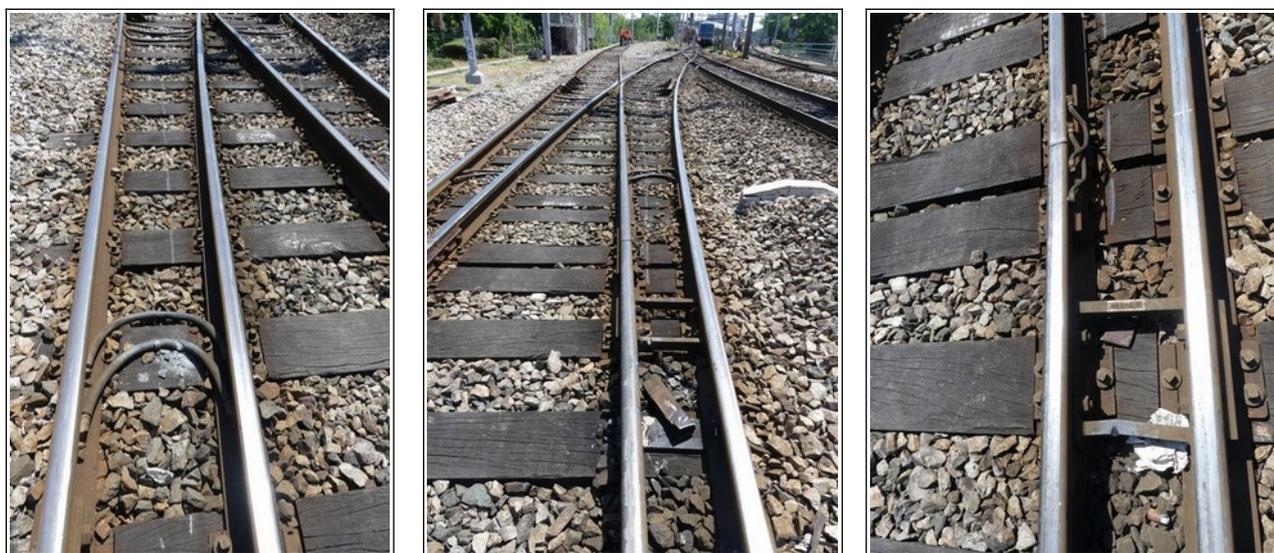


Figure 15 : dernière butée et entretoise endommagées

Le premier essieu déraillé s'est décalé sur la gauche, le boudin de la roue gauche prenant appui non plus sur l'aiguille mais sur la contre-aiguille gauche avant de tomber entre le rail et la lame d'aiguille lorsque l'écartement entre l'aiguille et le rail de contre-aiguille devient supérieur à la largeur de la table de roulement.



Figure 16 : aucune trace de roue entre la PRA et la dernière butée

5.1.2 - Le relevé des traces de roues sur l'aiguille de l'AdV n° 4621

L'aiguille de l'AdV n° 4621 a fait l'objet d'un relevé précis des traces et défauts après le déraillement.

Une trace de départ de matière au sommet de l'aiguille est visible de la pointe de l'aiguille (PRA) + 160 mm jusqu'au PRA + 500 mm : **trace 1**.

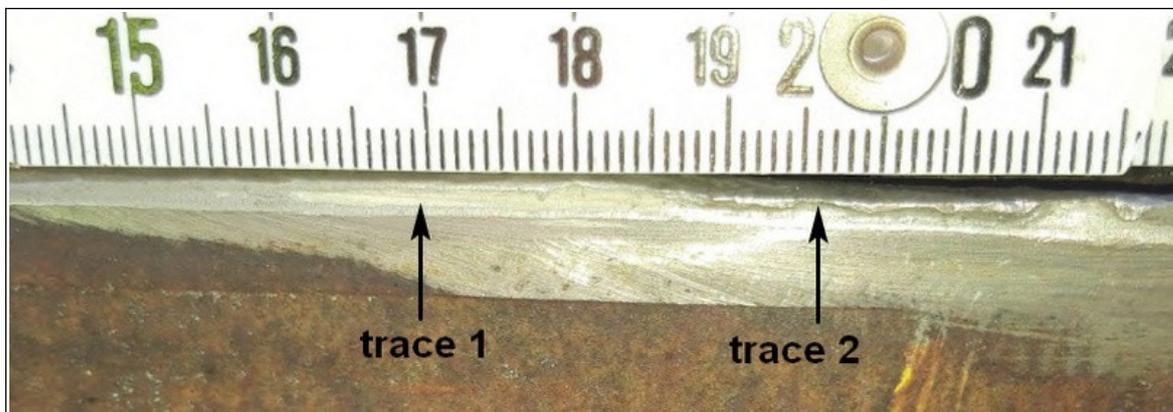


Figure 17 : traces 1 et 2

Cette trace révèle probablement une légère usure de la partie haute de l'aiguille due à des contacts de roues. Or le contact des roues sur la pointe de l'aiguille ne peut normalement débuter dans le cas de l'AdV n° 4621 qu'à partir de PRA + 200 mm. Par ailleurs l'aiguille ne reprend la charge des roues qu'à partir de PRA + 700 mm.

Sans que l'on puisse l'affirmer, l'aiguille s'est sans doute déplacée latéralement de quelques millimètres par rapport à sa position normale par rapport à la contre-aiguille soit sous l'effet d'un déplacement de la contre-aiguille de gauche, soit d'un entrebâillement « résistant ».

Il n'est pas possible de déterminer depuis quand l'aiguille s'est déplacée.

Cette empreinte présente un relief en creux s'accroissant progressivement à partir de PRA + 345 mm, démontrant une sollicitation en fatigue causée par le passage de plusieurs roues ayant imprimé leur marque dans la partie usinée de l'aiguille, ou par un décrochement de matière consécutif aux contacts répétés de roues.

À proximité du sommet de l'aiguille, la trace continue, s'accroissant encore en hauteur et en profondeur jusqu'à PRA + 400 mm. Cette accentuation est probablement en lien avec une répétition plus fréquente de roues présentant une déformation de type bourrelet : excroissance de matière à l'intérieur du boudin (voir chapitre 6.2.3).

Entre PRA + 185 mm et PRA + 220 mm, le sommet de l'aiguille se trouve écrasé en formant un repli de matière. Cette trace (**trace 2**) est la conséquence d'un contact vertical localisé intense, correspondant au passage d'une ou plusieurs roues. Or la reprise de charge sur le sommet de l'aiguille ne peut théoriquement intervenir qu'à la fin de l'abaissement vertical de l'aiguille, dans le cas de l'AdV n° 4621 au-delà de PRA + 800 mm.

Entre PRA + 300 mm et PRA + 360 mm, et PRA 380 mm à 435 mm, en frontière du flanc usiné, des stries (**trace 3**) sont inclinées dans le sens de circulation de la roue de la pointe vers le talon. Il s'agit :

- soit d'une ancienne trace de meulage qui subsiste après les différents passages de roues ;
- soit d'une trace de frottement de boudin de roue.

Les examens des AdV analogues (chapitre 6.3.3) permettent de conclure que cette trace est due aux opérations de meulage.

Nota bene : sur une lame d'aiguille usagée, l'angle de contact roue/rail peut être différent de 70° et le plan de guidage s'éloigner de la caractéristique théorique avec des angles de plus en plus faibles, ce qui favorise les montées de roue.

Entre PRA + 320 mm et PRA + 360 mm, le sommet de l'aiguille s'infléchit approximativement d'un à trois millimètres en hauteur, conséquence d'un défaut assimilable à une ébréchure.



Figures 18 et 19 : trace 3 et ébréchure

De courtes stries proches du sommet sont localisées autour de PRA + 370 mm et de PRA + 400 mm (trace 1).

Un écrasement transversal est localisé du sommet de l'aiguille à PRA + 500 mm, à l'endroit où s'arrête la première trace. Cet écrasement crée un surplus de matière au-dessus du sommet physique de l'aiguille. Il est très probablement la conséquence d'un contact latéral intense d'un sommet du boudin de roue résultant de la transition anormale d'un guidage par l'aiguille à un guidage par la contre-aiguille.

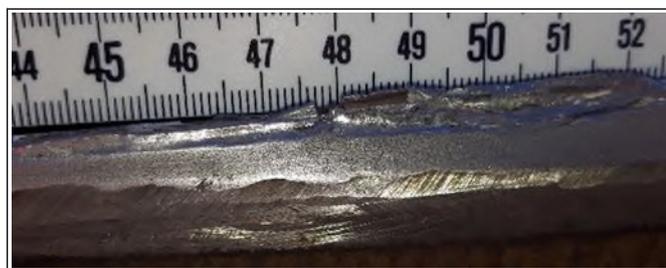


Figure 20 : écrasement localisé

À partir de PRA + 535 mm, des poinçonnements localisés sur l'arête du sommet de l'aiguille sont constatés, conséquence de la perte de guidage sur l'aiguille et donc d'un contact « boudin de roue / sommet d'aiguille ».

Cette évolution de guidage se produit sur une ancienne zone d'ébréchure, caractérisée par l'abaissement local du sommet de l'aiguille entre PRA + 400 mm et PRA + 600 mm. Le sommet du boudin d'une roue déraillée a probablement franchi l'arête pour rouler sur le sommet de l'aiguille vers PRA + 600 mm.



Figure 21 : poinçonnement à PRA + 520 mm

À PRA + 610 mm, sur moins d'un centimètre, une marque localisée sous forme de poinçon se situe sur l'arête du sommet de l'aiguille, stigmate d'une chute de roue (descente d'une roue qui serait montée avant 600 mm).



Figure 22 : marque localisée à PRA + 610 mm

Entre PRA + 620 mm et PRA + 770 mm, des stries plus ou moins courtes, plus ou moins profondes/marquées et localisées sur l'arête du sommet de l'aiguille sont inclinées dans le sens de circulation des roues (de la pointe vers le talon). Elles correspondraient aux contacts obliques de boudins de roues ou à des traces de descentes de roues dans une zone où l'aiguille n'a pas été meulée.

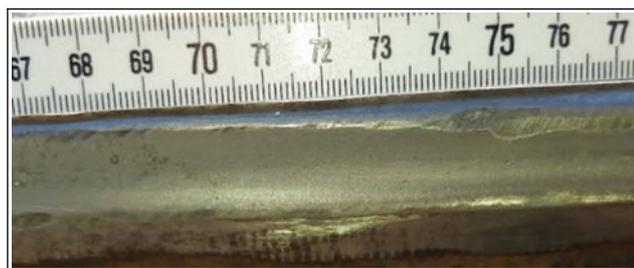


Figure 23 : contacts de boudins de roues ou traces de descente de roues

Au-delà de PRA + 770 mm, l'aiguille ne présente aucune particularité notable.

L'aiguille a fait par la suite l'objet d'une expertise en laboratoire qui a permis d'analyser plus finement les marques et de conclure :

- des premières marques de contact roue/aiguille sont visibles dès PRA + 100 mm ;
- et l'abaissement de la ligne de l'aiguille (trace 1) s'étend de PRA + 150 à PRA + 600 mm.

5.1.3 - Synthèse des traces observées : la montée de la roue dérailleuse

Une trace de roulage du sommet du boudin de la roue dérailleuse sur le sommet de l'aiguille a été visuellement identifiée dès PRA + 700 mm. La montée de la roue dérailleuse est donc antérieure à cette position.

Des traces d'usure étant présentes dès PRA + 160 mm, il est fort probable que l'aiguille ait été légèrement décollée de la contre-aiguille lors des passages des trains.

Aucune trace d'usure du même type n'ayant été constatée sur d'autres aiguillages de caractéristiques géométriques similaires, de conditions d'exploitation comparables sur le réseau emprunté par les trains du RER B, l'hypothèse d'un léger décollage de l'aiguille sans décontrôle lors du passage des trains est possible sans toutefois pouvoir être confirmé.

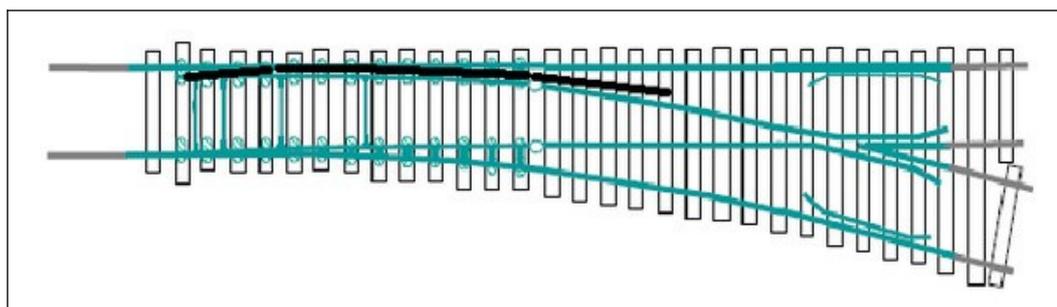


Figure 24 : schéma du passage de la roue dérailleuse

L'aiguille présente aussi des ébréchures et traces de meulage qui ont affecté sa géométrie en particulier un abaissement de sa ligne haute.

5.2 - Le contrôle des bogies avant le déraillement

5.2.1 - Le contrôle des roues

La dernière vérification des roues des bogies des voitures 8115 et 28115 a été effectuée le 24 février 2020.

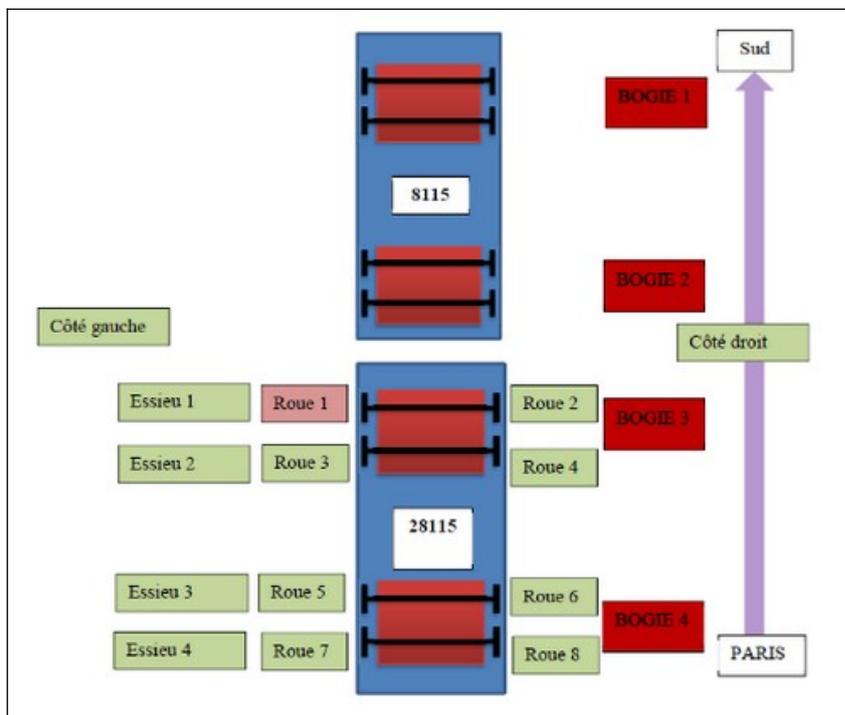


Figure 25 : position des bogies sur les deux voitures de rame

Lors de cette vérification faite avec l'appareil GOGRY (voir figure 28) :

- dans un premier temps, le profil des roues a été caractérisé : hauteur, épaisseur du boudin, Qr^3 avec le contrôle du diamètre et le calcul de l'écartement des faces actives ;
- puis un examen visuel a été réalisé pour évaluer l'état des roues en particulier celui des tables de roulement pour déceler des déformations, usures de type méplats, exfoliation, écaillage...

Les roues ont été reprofilées et la rugosité des roues contrôlée : dernières interventions le 20 septembre 2019.

Pour les deux rames impliquées dans le déraillement, les dernières opérations de vérification et maintenance ont respecté les périodicités fonction du kilométrage parcouru.

Toutes les dimensions et cotes respectent les tolérances. L'inspection visuelle a retenu des gerçures, excoriations et méplats.

Les méplats se caractérisent par une usure à plat d'une partie de la table de roulement, une ou plusieurs taches ovales sont visibles. Ces défauts sont générés par un glissement de la roue sur le rail suite à un enrayage pendant un freinage.



Figure 26 : exemple des méplats

Les gerçures se présentent sous formes de fissures disposées de façon désordonnée, de direction générale sensiblement parallèle à l'axe de l'essieu. Ces fissures peuvent ensuite évoluer en excoriations : départ de lamelles métalliques de la table de roulement. Ces défauts sont dus à une modification des caractéristiques du métal de la couche périphérique de la roue, sous l'action des semelles de frein, ou à une résistance du matériau trop faible vis-à-vis des efforts générés par la charge.



Figure 27 : exemple de gerçures et excoriation

Malgré cela, aucune non-conformité contraire à la sécurité ferroviaire n'a alors été relevée. Les excoriations sur les quatre roues du bogie avant de la voiture n° 28115 et le méplat sur la roue 4 de ce bogie ont été générés par une fatigue de la table de roulement et sont symptomatiques d'une sollicitation de freinage ponctuellement trop importante. Ces défauts n'ont pas d'impact sur la montée de roue.

Aucun bourrelet n'a été relevé lors de ces contrôles.

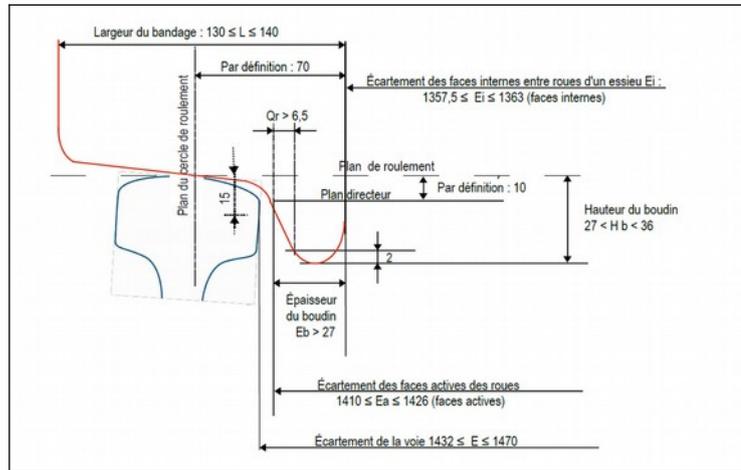


Figure 28 : paramètres relevés avec l'appareil GOGRY

Code oper.	Désignation des Opérations	Réalisé		Observations	Traitées	
		Pair	Imp		oui	non
	ROUES FTS PR00231 C09 & FTS PR00234E01					
0231 01	Examen général (recherche déformations, traces d'oxydations, PLG) (pour les Obs pair, voir au dos de la feuille)					
0231 02	Mesure du profil des roues (H, Ep, QR). Utiliser le GOGRY (calibre SNCF). La hauteur du boudin doit être : $27 \text{ mm} \leq H \leq 36 \text{ mm}$. L'épaisseur du boudin doit être : $22 \text{ mm} \leq e \leq 33 \text{ mm}$. La différence d'épaisseur d'un même essieu : $\Delta e \leq 3 \text{ mm}$. La cote QR doit être $> 6.5 \text{ mm}$. Si $QR \leq 9,5$ prévenir A.M pour profil de Roue			N° de GOGRY utilisé : MA 2877		

27aHc36 22aEs33 QR>6,5					8115					27aHc36 22aEs33 QR>6,5						
Roue 1	H	E	QR	OBS	MOTRICE Coté IMPAIRE	Roue 2	H	E	QR	OBS	Roue 2	H	E	QR	OBS	
Roue 3	H	E	QR	OBS		Roue 4	H	E	QR	OBS	Roue 4	H	E	QR	OBS	
Roue 5	H	E	QR	OBS		Roue 6	H	E	QR	OBS	Roue 6	H	E	QR	OBS	
Roue 7	H	E	QR	OBS		Roue 8	H	E	QR	OBS	Roue 8	H	E	QR	OBS	
Roue 1	H	E	QR	OBS		28115 REMORQUE Coté IMPAIRE	Roue 2	H	E	QR	OBS	Roue 2	H	E	QR	OBS
Roue 3	H	E	QR	OBS			Roue 4	H	E	QR	OBS	Roue 4	H	E	QR	OBS
Roue 5	H	E	QR	OBS			Roue 6	H	E	QR	OBS	Roue 6	H	E	QR	OBS
Roue 7	H	E	QR	OBS			Roue 8	H	E	QR	OBS	Roue 8	H	E	QR	OBS

Figure 29 : extrait de la fiche de la dernière visite des bogies avant déraillement 24 février 2020

5.2.2 - Vérification de l'écartement des faces internes des bogies (24 février 2020)

Les cotes d'écartement des faces internes (Ei) et épaisseurs de boudins (e1 et e2) ont été relevées lors du dernier reprofilage au tour en fosse réalisé le 20 septembre 2019 et également lors du dernier entretien du 24 février 2020. Là aussi aucune non-conformité au référentiel de maintenance n'a été relevée.

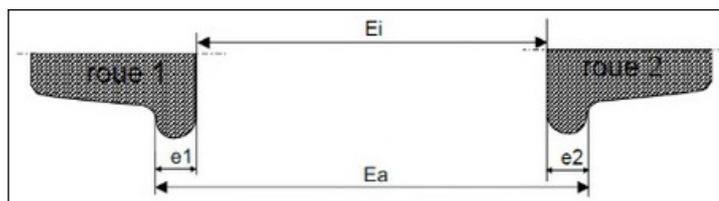


Figure 30 : cotes des faces internes du bogie

5.2.3 - Suspension du bogie

Aucune non-conformité n'a été observée lors des contrôles des suspensions du premier bogie de la remorque n° 28115, contrôles réalisés avant l'accident.

5.3 - La maintenance de l'infrastructure ferroviaire : l'AdV n° 4621

L'infrastructure ferroviaire des RER fait l'objet d'inspections régulières, ainsi que d'opérations de maintenance.

L'analyse des opérations d'inspection et de maintenance ne concerne que l'AdV n° 4621, l'origine du déraillement s'étant produit lors du passage au droit de cet appareil.

Le tableau qui suit liste l'ensemble des activités de maintenance préventive sur l'AdV n° 4621, leur cycle (avec leur marge) ainsi que les dates de réalisation des deux derniers cycles.

Chacune des opérations d'inspection et de maintenance est détaillée dans les comptes rendus de travail (CRT). Lorsque ces activités nécessitent des relevés, ceux-ci sont rassemblés dans les fiches de contrôles (FC).

Opérations de maintenance préventive	Cycle (en jour)	Tolérance en %	Tolérance en jour	Dates de la dernière opération	Date de l'avant-dernière opération	Commentaires
Contrôle d'usure	365	15 %	55	12/05/2020	17/05/2019	Cycle respecté
Expertise de l'appareil de voie	182	15 %	27	14/04/2020	14/10/2019	Cycle respecté
Graissage de l'appareil de voie	21	Non	Non	15/06/2020	25/05/2020	Cycle respecté
Graissage de la manœuvre	182	Non	Non	03/06/2020	05/12/2019	Cycle respecté
Révision cyclique de la manœuvre (RCM)	365 (avant 2 ans)	15 %	55	16/05/2018	28/04/2016	dernière RCM respecte l'ancien cycle de 2 ans mais pas le nouveau cycle d'un an

Tableau 1 : contenu et date des opérations de maintenance de l'AdV n° 4621

Les dernières opérations de contrôle et de maintenance ont respecté les cycles fixés sauf pour la révision de la manœuvre, cette opération aurait dû être faite en mai 2019 puis mai 2020. La fréquence des révisions cycliques de la manœuvre et du contrôle des demi-aiguilles est passée par anticipation de 2 ans à 1 an fin 2018 pour tenir compte de l'évolution des conditions d'exploitation prévue en juillet 2020 : l'utilisation du quai 3 et donc de l'itinéraire vers la voie 1 passant par l'AdV n° 4621 devant être renforcée.

Des écarts sur les cotes du contre-rail ont été constatés lors du dernier contrôle d'usure en avril 2020. Ces écarts, par ailleurs très faibles, ne peuvent avoir eu une influence sur la montée de roue car situés au niveau du cœur de l'aiguillage.

Le dernier contrôle d'usure des demi-aiguillages n'a pas montré d'écart sur les cotes dimensionnelles. Lors du graissage de l'AdV et du graissage de la manœuvre aucune dégradation n'est signalée.

Cependant, après le déraillement de nombreuses marques ont été constatées sur l'aiguille, marques générées lors des opérations de maintenance (stries de meulage), par

de l'usure par frottement des roues. Ces marques engendrent ponctuellement ou sur quelques dizaines de cm des modifications de la ligne haute de l'aiguille.

5.4 - Surveillance de l'AdV n° 4621

L'AdV n° 4621 a été remis en service le 10 juillet 2020 en prenant des précautions préalables et en exerçant une surveillance spécifique :

➤ Précautions :

- changement du demi-aiguillage de gauche et vérification des cotes de sécurité,
- remplacements du moteur et du système de verrouillage de l'aiguillage (Verrou Carter Coussinet VCC),
- bourrage mécanique lourd avec adjonction de ballast sur la zone de l'AdV n° 4621 consécutif aux remplacements des AdV n° 4622 et 4623,
- passage d'un train d'essai dans la nuit du 9 au 10 juillet avec enregistrements vidéo pour surveillance du soulèvement de roue (chapitre 6.1).

➤ Surveillance spécifique : contrôle d'usure de l'aiguille gauche tous les 15 jours pendant 6 mois, relevé des profils d'usures de l'aiguille gauche tous les mois pendant 6 mois avec une réévaluation de ces mesures au bout de 6 mois.

Depuis la remise en service les opérations de maintenance préventives usuelles et spécifiques n'ont révélé aucune anomalie.

5.5 - Synthèse des premières constatations

L'analyse des traces de roue sur l'infrastructure permet de conclure à un déraillement par montée de roue au droit de l'AdV n° 4621.

La maintenance de l'infrastructure et des bogies de la rame accidentée ont respecté les périodicités fixées dans les référentiels techniques. Aucune anomalie, par application des modes opératoires et critères décrits dans ces mêmes référentiels n'a alors été recensée comme devant générer des réparations.

Des défauts mineurs ont cependant été constatés à la fois sur la géométrie de l'aiguillage, sur l'usure de l'aiguille avec des traces de roue inhabituelles avant PRA + 200 mm et sur les roues du bogie dérailleur, sans s'écarter des règles des référentiels de maintenance.

À noter que ces référentiels techniques n'imposent pas la mesure systématique des bourrelets sur les boudins des roues de bogie.

À ce stade d'analyse il n'est pas possible d'expliquer la montée de roue au droit de l'AdV n° 4621 ni de déterminer les paramètres qui ont pu intervenir dans la survenue de ce phénomène.

6 - Les investigations menées après le déraillement sur le matériel roulant et l'infrastructure

Après les premières constatations sur l'infrastructure et le bogie déraillé, la montée de roue n'étant pas expliquée, un programme d'expertise a été entrepris, avec des simulations numériques permettant d'évaluer les effets cumulatifs de défauts mineurs qui, chacun pris séparément, n'ont pas pu causer le déraillement.

Les facteurs, dont les effets peuvent se cumuler, pouvant influencer sur une montée de roue sont :

- pour la partie infrastructure :
 - la géométrie avec en particulier le gauche de voie : différence de nivellement entre les deux files de rail mesuré sur 3 m,
 - le profil du rail.
- pour la partie « matériel roulant » :
 - le profil de roue,
 - les suspensions.
- pour le contact rail/roue
 - l'angle de contact (voir chapitre 6.4.2),

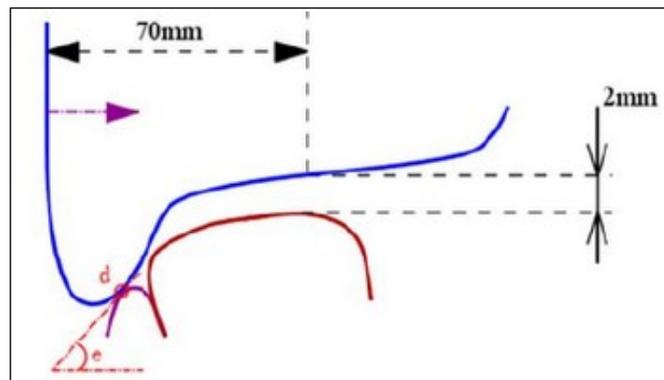


Figure 31 : contact roue/rail : angle d'attaque α

- le frottement entre les roues et le rail,
- le rapport entre les forces verticales et horizontales appelé capacité de guidage, le rapport doit être inférieur à 1,2 pour des vitesses lentes lorsque l'angle du boudin par rapport à l'horizontale (β) est de l'ordre de 70° .

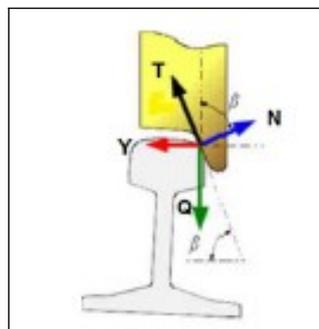


Figure 32 : forces du contact roue/rail

6.1 - Train d'essai avant la reprise de la circulation sur l'AdV n° 4621

Dans la nuit du 9 au 10 juillet 2020, après la réparation de l'AdV n° 4621 et avant la reprise des circulations des trains sur cet AdV, un train du parc d'exploitation composé de deux éléments MI79R a circulé à différentes vitesses constantes (5, 10, 20 et 30 km/h) sur l'itinéraire du déraillement.

Aucun soulèvement de roue n'a été observé par les caméras placées en bord de voie pour cet essais.

À noter que les roues des bogies du train d'essai ne présentaient pas de défaut de type bourrelet.

6.2 - Les roues du bogie dérailleur après le déraillement

Lors du dernier contrôle (24 février 2020), le compte rendu de travail indique que la roue n° 4 du bogie présentait un plat et toutes les roues de ce bogie présentaient des excoirations.

L'examen visuel des roues après le déraillement confirme ces dégradations et permet de les quantifier : ces défauts sont mineurs et n'ont pas pu être à l'origine du déraillement, ni même y contribuer.

6.2.1 - Relevé du profil des roues

Les relevés des profils de roue de l'ensemble de la voiture n° 28115 réalisés le 29 juin 2020 après le déraillement ne montrent pas d'anomalie au regard des critères suivis en maintenance. À noter que les cotes mesurées diffèrent quelque peu de celles mesurées lors de la dernière opération de contrôle/maintenance le 24 février 2020 (voir chapitre 5.2.1).

Paramètres mesurés	Roue 1	Roue 2	Roue 3	Roue 4	Roue 5	Roue 6	Roue 7	Roue 8	Limite
Qr (mm)	9.49	9.67	10.14	10.28	9.92	10.22	10.18	9.87	>6.5
H (mm)	27.8	27.85	27.52	28.1	27.94	27.85	28.05	28.07	$27 \leq H \leq 36$
E (mm)	29.09	29.01	29.16	28.73	29.51	28.7	29.71	28.43	$22 \leq E \leq 33$

Tableau 2 : relevés des profils des roues du bogie dérailleur le 29 juin

Le profil de la roue dérailleuse a été caractérisé sur 10 secteurs à l'aide d'un autre appareil de mesure, le Miniprof qui permet de mesurer le bourrelet. Les bourrelets de roue caractérisent une déformation, en général par déplacement de matière, du flanc (face active) de la roue.

Pour chaque secteur, le bourrelet a été alors caractérisé en mesurant les paramètres suivants :

- le Qr ;
- la hauteur du boudin : H ;
- l'épaisseur du boudin : E ;
- la flèche maximale du bourrelet : f ;
- la hauteur de la flèche maximale : h_f (flèche maximale par rapport à la table de roulement) ;

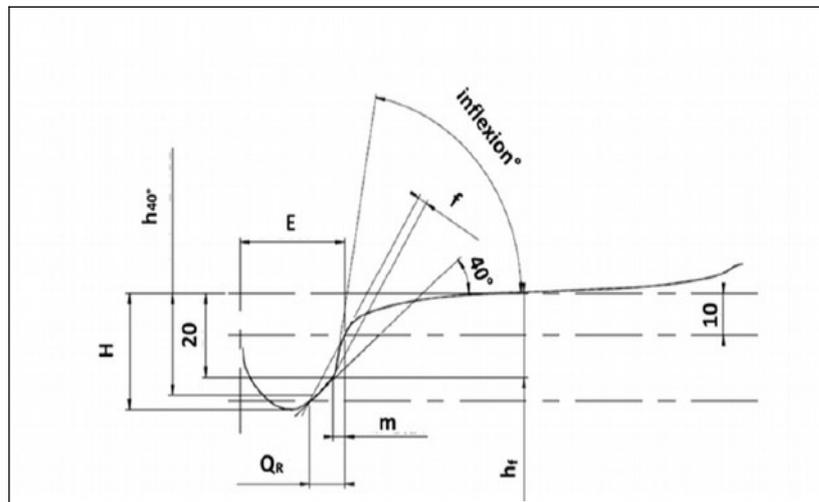


Figure 33 : paramètres mesurés pour caractériser le bourrelet

Paramètres mesurés	1	7	3	9	6	10	2	8	4	5
Qr (mm)	9.6	9.84	9.39	9.79	9.74	9.75	9.59	9.57	9.89	9.7
H (mm)	27.68	27.83	27.58	27.76	27.73	27.62	27.71	27.52	27.74	27.75
E (mm)	28.61	28.73	28.59	28.75	28.7	28.72	28.76	28.7	28.65	28.68
Flèche bourrelet (mm)	2.48	2.50	2.38	2.41	2.33	2.28	2.27	2.28	2.47	2.45
Hauteur du bourrelet (mm)	20,03	19,31	19,57	19,10	19,14	19,60	20,48	19,00	19,43	19,59

Tableau 3 : profils des roues de la roue dérailleuse mesurés sur 10 secteurs

Sur la roue 1, roue dérailleuse, un bourrelet sur la face active de boudin dans la zone dite du Qr a été constaté, ainsi que sur la roue 3 roue suiveuse mais de plus faible dimension. Ce bourrelet résulte d'un mouvement de matière vers le sommet du boudin. À noter qu'il n'est pas détectable lors des opérations de contrôle pratiquées jusqu'à présent.

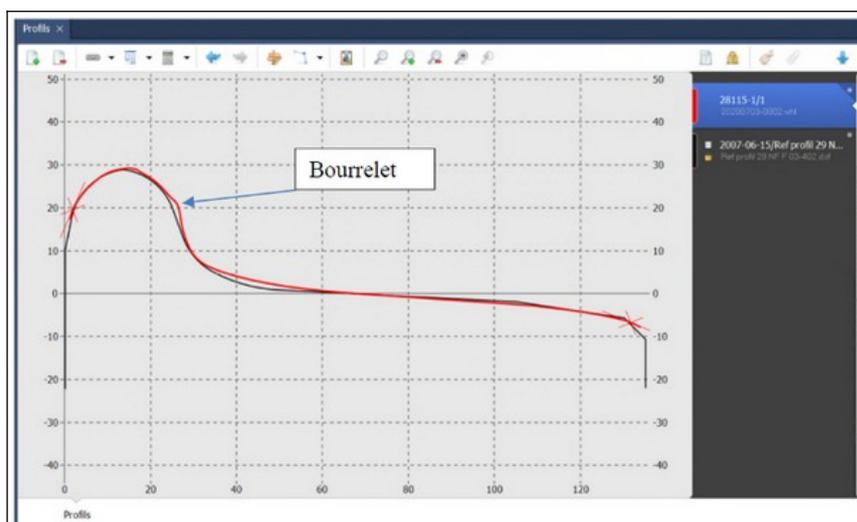


Figure 34 : relevé du profil de la roue 1 (roue dérailleuse)

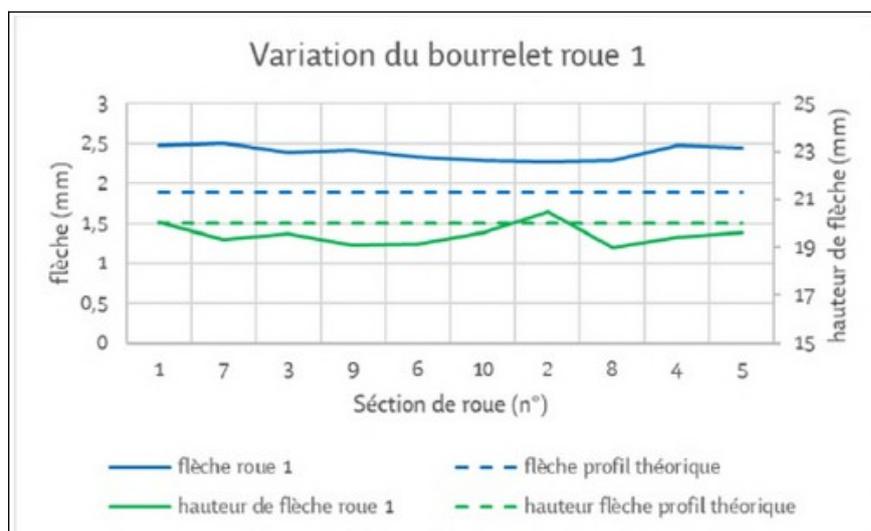


Figure 35 : variation du profil de la roue

Si les caractéristiques fondamentales du profil des roues sont conformes au référentiel de maintenance, l'anomalie que représente un bourrelet de roue sur la face active du boudin de la roue 1 peut être une des causes du déraillement.

Ces constats ont amené la RATP à mener des investigations complémentaires développées dans le chapitre suivant.

6.2.2 - L'analyse des roues des matériels de la ligne B du RER

À la suite de la détection d'un bourrelet sur la face active du boudin de la roue dérailante, une campagne de contrôle des roues a été effectuée sur les matériels MI79 et MI84 en exploitation commerciale sur la ligne B du RER.

Afin de détecter un bourrelet sur la face active du boudin, trois moyens de contrôle sont à la disposition des équipes : la palpation manuelle pour sa détection, un calibre de type passe/passe pas (ou calibre à limites) ou un mesureur laser (Calipri®) pour déterminer la taille du défaut identifié.

Les 113 voitures MI79 et les 32 voitures MI84 en exploitation commerciale sur la ligne B ont été entièrement contrôlées.

Pour les MI79, sur les 1808 roues, 210 ont présenté un bourrelet lors de la palpation dont 31 avec un bourrelet identifié hors tolérance grâce au calibre ou au Calipri®.

Pour les MI84, sur les 512 roues, 26 ont présenté un bourrelet lors de la palpation dont 3 avec un bourrelet mesuré hors tolérance grâce au calibre ou au Calipri®.

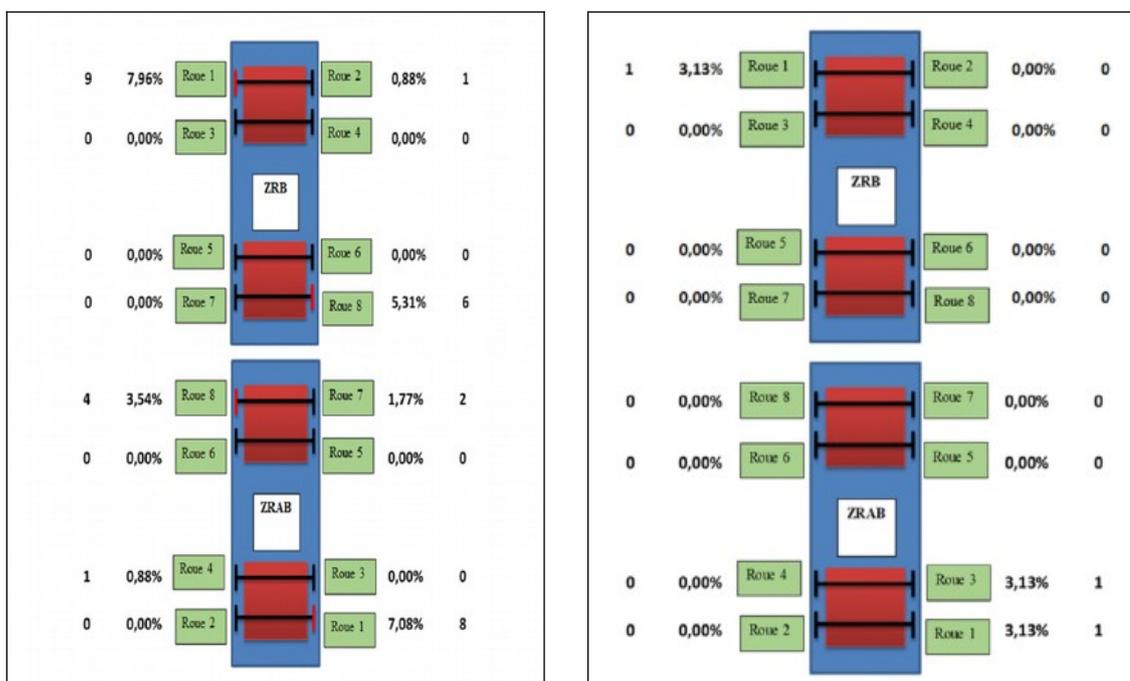


Figure 36 : % de roues des rames MI79 et MI84 présentant un bourrelet hors tolérance

À noter :

- que les roues présentant des bourrelets significatifs sont surtout les roues 1 et dans une moindre mesure les roues 8 : roues à l'avant des rames et à gauche (NB : la position de la roue dérailleuse correspond aux roues 8 de la figure) ;
- et que la position et la proportion des roues avec bourrelet diffère selon la rame (MI79 ou MI84). Aujourd'hui cette seconde constatation n'a pu être expliquée.

Globalement, 236 roues ont été identifiées avec un bourrelet, ce qui représente 10,2 % des roues mais moins de 1,5 % des roues (34) présentaient un bourrelet important.

6.2.3 - L'analyse des bourrelets de roue : la déformation par fluage

La RATP a procédé à une expertise en laboratoire du bourrelet de la roue dérailante : examen micrographique sur des coupes de la roue, mesures de dureté, de résistance mécanique, de limite supérieure l'écoulement.

Les résultats de l'ensemble de ces examens et mesures permettent de confirmer que les bourrelets sont générés par des contacts roue/rail d'intensité élevée : le bourrelet est la conséquence d'un fluage de matière du flanc du boudin vers le sommet. Ce déplacement de matière résulte d'efforts de pression de contact roue/rail importants. Auparavant il avait été vérifié que les opérations de reprofilage en tour en fosse n'étaient pas à l'origine de la formation des bourrelets.

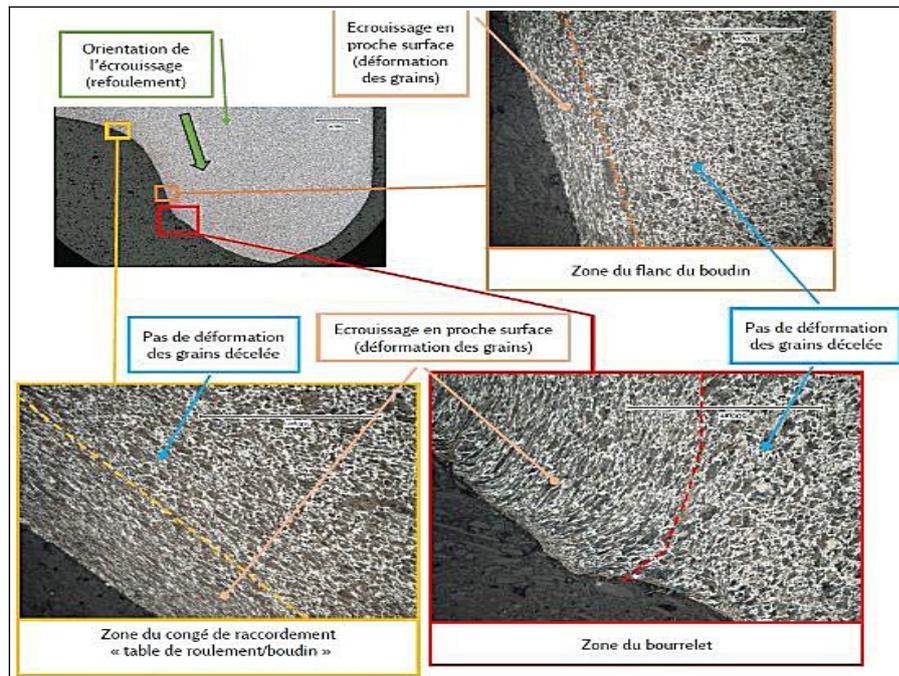


Figure 37 : vue micrographique du bourrelet de la roue dérailante

6.2.4 - La formation des bourrelets de roue

Les bourrelets de roue étant identifiés comme possible cause du déraillement, des investigations ont été faites en complément de celles déjà réalisées (§ 6.2.2 et 6.2.3) :

- pour déterminer la dynamique de leur formation ;
- pour identifier les secteurs du réseau où des efforts importants dans les roues peuvent générer des déformations par fluage.

Des mesures des boudins de roue ont été effectuées à grande échelle : plus de 7000 qui ont permis :

- d'évaluer la vitesse de formation des bourrelets : 0,027 mm / 10 000 km parcourus ;
- de retenir une loi normale pour la répartition de la vitesse de croissance des bourrelets.

Par ailleurs un train a été instrumenté

- pour mesurer les accélérations, les efforts dans les roues, et les déplacements verticaux des roues d'attaque, à l'aide de capteurs de débattement sur certains organes du bogie et des capteurs laser pointant sur le rail ;
- et pour visualiser le contact roue/rail.

Ce train a circulé sur l'ensemble du réseau de la ligne B du RER.

Les secteurs du réseau où les deux effets : déplacement vertical des roues et efforts importants dans les roues sont nombreux : environ 200 secteurs avec comme caractéristique commune un faible rayon. Aucune autre caractéristique commune n'a été identifiée pouvant être à la fois la cause de ces effets et pouvant être rectifiée.

D'autres analyses pourraient être conduites sur les données recueillies lors des passages du train instrumenté, combinées avec d'autres portant par exemple sur l'évolution des bourrelets de roue.

6.2.5 - La liaison caisse-bogie

La RATP a procédé à des analyses et examens des différents éléments de la liaison caisse-bogie.

Les éléments de cette liaison ayant pu influencer sur la montée de roue sont ceux jouant un rôle dans la rotation du bogie.

La liaison caisse-bogie se fait par un pivot sous-caisse inséré dans une articulation élastique. La rotation autour de l'axe pivot est également amortie par deux coussins pneumatiques latéraux.

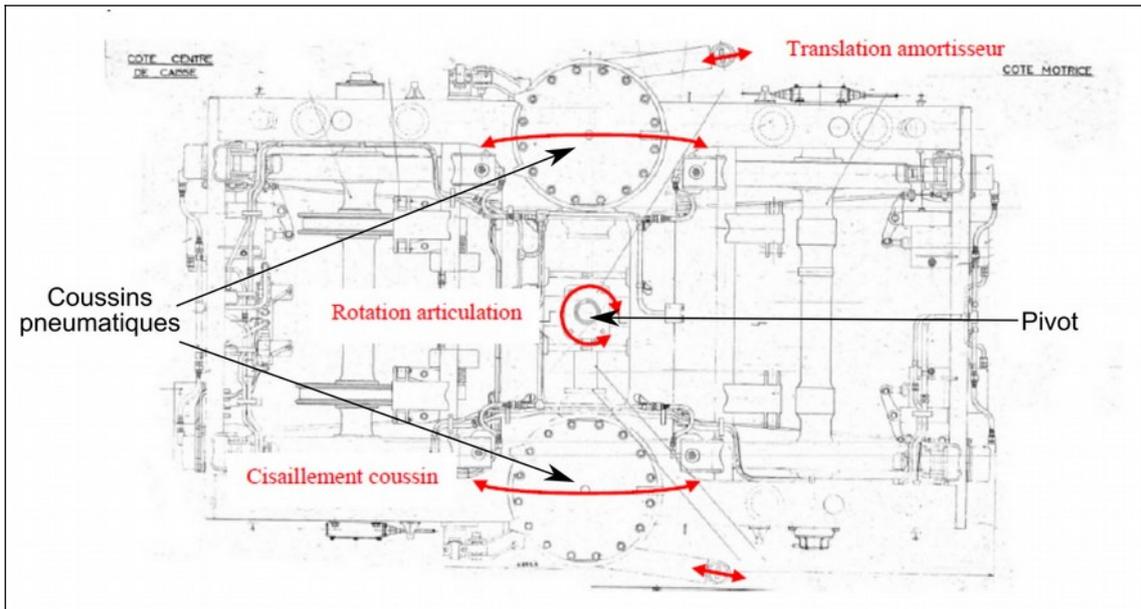


Figure 38 : vue de dessus du bogie

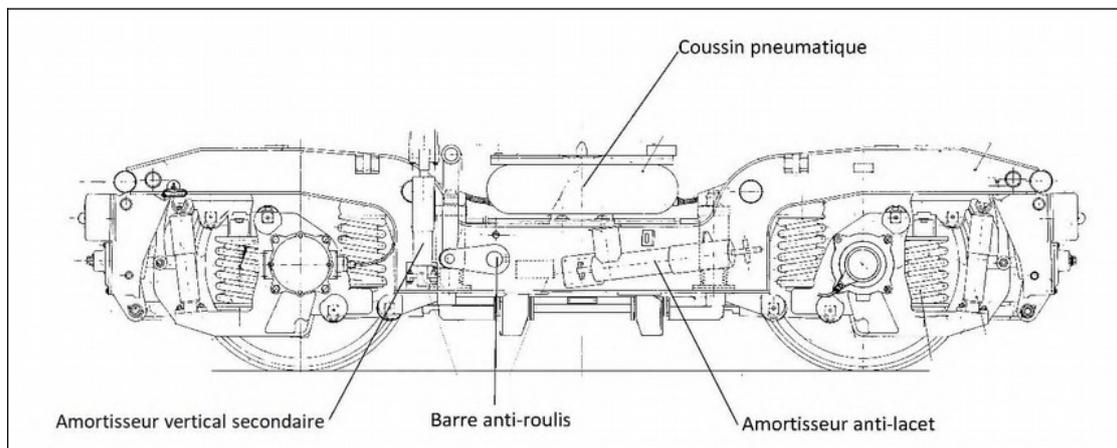


Figure 39 : vue transversale du bogie

Certains éléments ont été endommagés lors du déraillement et n'ont donc pas pu être expertisés. Pour les autres :

- les suspensions secondaires composées des amortisseurs verticaux secondaires et des coussins pneumatiques : lors de l'examen visuel, aucune trace d'éventuel défaut non dû au déraillement n'a été décelé. Les contrôles de maintenance réalisés en mars 2020 les ont jugés conformes. La perte de pression sur les suspensions

pneumatiques sont restées dans les critères de maintenance, y compris lors des essais réalisés après le déraillement.

- Les amortisseurs anti-lacet : des mesures de compression et détente ont été réalisées après le déraillement. En détente les résultats sont conformes, en compression les efforts mesurés sur les deux anti-lacets (droit et gauche) sont nuls. Mais ces organes sont réputés fiables et la probabilité que les deux présentent simultanément des défauts est quasi nulle. Aussi les avaries de compression sont sans aucun doute attribuées aux chocs pendant le déraillement ayant pu conduire à une perte d'étanchéité entre la soupape et le cylindre.

Combinés avec les contrôles de l'essieu avant le déraillement, ces analyses et examens ont conduit à ne pas retenir la liaison caisse/bogie comme facteur causal du déraillement.

6.3 - Les investigations sur l'infrastructure

6.3.1 - Le relevé de la géométrie des voies dans la zone de déraillement

La géométrie de la zone de déraillement a été relevée peu après le déraillement entre le cœur de l'AdV n° 4618 jusqu'au talon de la voie déviée de l'AdV n° 4623.

Les relevés ont été réalisés via l'outil de mesure KRAB S-Light. Cet outil permet de mesurer les paramètres suivants avec un pas de 0,25 m :

- dressage horizontal pour chaque file de rail ;
- dévers ;
- écartement ;
- gauche court (base 3 m);
- gauche long (base 18 m).

Tous les paramètres étaient conformes. En particulier en voie déviée (configuration lors du déraillement) l'écartement des voies est proche de la valeur théorique de 1455 mm.

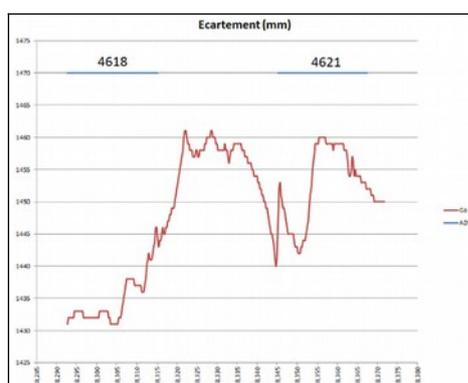


Figure 40 : résultat des mesures d'écartement en voie déviée

Des variations de l'écartement des voies se produisent de part et d'autre de la pointe de l'aiguille de l'AdV n° 4621. Elles correspondent aux zones de transition, avec par conception du raccordement de l'AdV, un cou dage avec surécartement.

Des variations importantes de l'écartement des voies génèrent des mouvements de caisse et des différentiels de mouvements entre les essieux qui peuvent accentuer les efforts transversaux (Y) sur les roues et donc faciliter la montée de roue mais sans être le paramètre déclencheur.

6.3.2 - Expertise de l'aiguille gauche

Des relevés avec un pas de 50 mm des profils d'usure du demi-aiguillage gauche, ont été effectués aiguille fermée et aiguille ouverte afin d'écartier l'influence du moyen de mesure.

Ces relevés de profils d'usure ont montré que l'aiguille est conforme au référentiel de maintenance (angle contact minimal de 60°).

On note cependant une usure du sommet de l'aiguille comme déjà mise en évidence avec l'analyses des traces sur l'aiguille (5.1.2, 5.1.3).

6.3.3 - Analyses sur les appareils de voie analogues

Afin de mieux comprendre les dégradations visibles sur l'aiguille de l'AdV n° 4621 il était nécessaire d'analyser celles d'aiguillages analogues.

Sur la ligne B du RER aucun AdV ne présente strictement la même configuration que l'AdV n° 4621. Une sélection d'aiguillages à partir de critères techniques (tracé en pointe, présence de traces de meulage, trafic en voie déviée supérieur à celui de l'AdV n° 4621) a été faite.

Toutes les aiguilles expertisées des AdV analogues présentent des stries de meulage. Leur présence permet de conclure que la trace 3 (chapitre 5.1.2) est bien relative à une opération de maintenance et non au déraillement.

Les différentes aiguilles expertisées ne présentent aucune des autres dégradations identifiées sur l'aiguille de l'AdV n° 4621 post-déraillement. Les conséquences potentielles des circulations de roues avec bourrelets n'ont pas été observées.

En particulier aucune trace de contact de roue n'a été constatée avant PRA + 200 pour les AdV dont la géométrie est similaire.

Les dégradations observées sur l'AdV n° 4621 post déraillement résultent donc d'une combinaison de facteurs locaux préjudiciables à l'intégrité de l'aiguille avec un possible entrebâillement de l'aiguille et les stigmates du déraillement du 24 juin 2020.

6.4 - Le contact rail/roue au niveau de l'AdV

6.4.1 - Le contact rail/roue dans la zone de déraillement : le frottement

Les valeurs de rugosité ont été relevées au rugosimètre sur la roue dérailleuse. Elles sont très faibles (entre 0,45 µm et 0,7 µm au niveau de la face active du boudin) très en dessous du maximum du référentiel RATP et de la norme NF F 01-131 « *Matériel roulant ferroviaire - Roues - Tolérances - États de surface - Éléments dimensionnels particuliers.* »

Les constats faits sur l'AdV n° 4621 juste après le déraillement ont permis de s'assurer de la présence de graisse sur la pointe de l'aiguille. Les valeurs de rugosité faibles combinées à la présence de graisse permettent d'affirmer que la table de roulement et l'intérieur du boudin de la roue dérailleuse n'ont pas été endommagés lors du déraillement : pas d'arrachement de matière dans la zone de contact rail/roue, seule la partie supérieure du boudin a pu subir des chocs.

La lubrification de l'AdV et la rugosité de la roue ne sont pas en défaut et ne peuvent être considérées comme des facteurs ayant causé le déraillement du 24 juin 2020.

6.4.2 - Le contact rail/roue au niveau de l'appareil de voie

En courbe avec dévers ou dans l'AdV n° 4621, le point de contact rail/roue se situe vers le boudin (face extérieure) de la roue.

Plusieurs critères sur le contact rail/roue sont émis par l'Office de Recherche et d'Essais (ORE) et repris dans des règles techniques européennes pour limiter les risques de déraillement.

Outre des critères sur le profil de roue (critères déjà vérifiés au chapitre 6.2), l'ORE [C70-rapport 1 avril 1969] préconise des conditions de contact rail/roue acceptables lors du franchissement d'un appareil de voie : lorsque la roue est à 2 mm au-dessus du rail, l'angle de contact entre la roue et le rail ne doit pas être inférieur à 40° sur plus de 200 mm. Ces conditions sont recommandées par l'ORE pour ne pas dérailler.

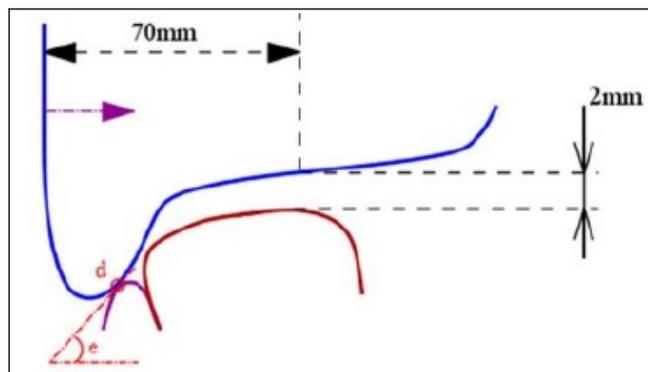


Figure 41 : angle de contact rail/roue pour le critère ORE C70

Un programme a été utilisé par la RATP pour faire ce calcul d'angle :

- sur la roue dérailleuse, 10 profils ont été mesurés (chapitre 6.2.1) ;
- des relevés d'aiguille ont été réalisés tous les 50 mm environ (chapitre 6.3.2) :

Le premier relevé a été réalisé avec l'aiguille fermée ; l'aiguille et la contre-aiguille sont en contact : c'est la position de l'aiguille lors du déraillement. Pour la mesure, l'aiguille était maintenue plaquée au moyen d'un Cé à approximativement 700 mm de la PRA, celle-ci ayant été déformée au cours du déraillement.

Le second relevé a été réalisé « aiguille ouverte ». Dans ce cas l'appareil est positionné sur l'itinéraire opposé, une partie de la joue active de la contre-aiguille est aussi relevée.

Un profil reconstruit a été déterminé en superposant le profil aiguille fermée avec celui de l'aiguille relevé lorsque l'AdV était ouvert afin d'améliorer la précision.

Les premières analyses sur des profils théoriques permettent de déterminer que :

- une roue théorique sur une aiguille théorique (aiguille neuve) présente un angle de contact de 57,2° ;
- sur un profil d'aiguille théorique, les angles de contact sont tous supérieurs à 55° quels que soient les profils des roues du bogie dérailleur ;
- pour la roue dérailleuse : le rapprochement des 10 profils de la roue et d'un profil de roue neuve (S1002) avec le profil d'aiguille reconstruit permet de mettre en évidence que tous les profils connaissent bien une chute d'angle à 300 mm de la PRA.

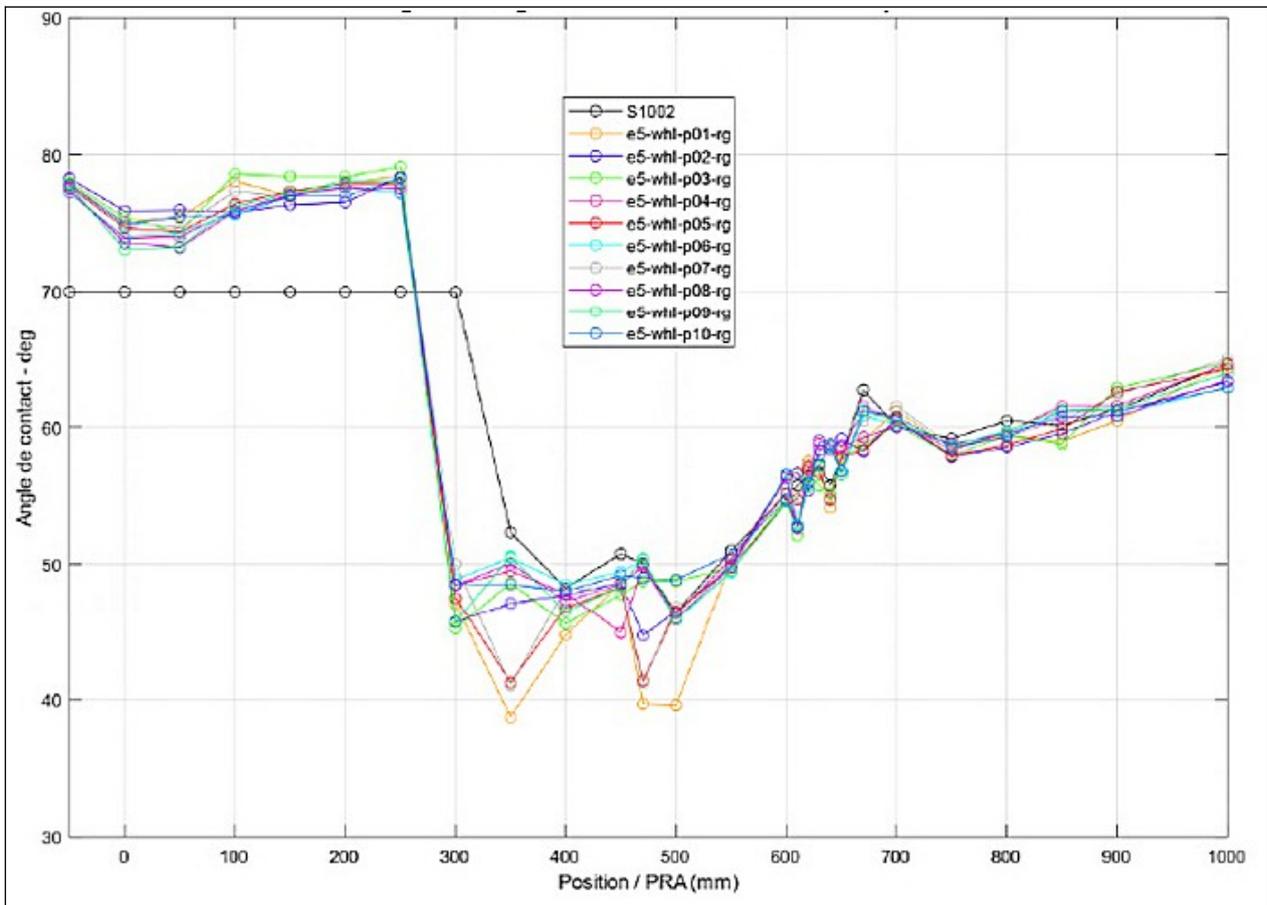


Figure 42 : variation de l'angle de contact rail/roue dérailleuse pour les 10 profils de la roue dérailleuse, profil d'aiguille reconstruit

On remarque aussi (figure 42) que les profils où le bourrelet présentait une flèche plus importante correspondent aux angles les plus bas atteints à la fois à 350 mm et à 470 mm de la PRA. Il est aussi intéressant de remarquer que la majorité des profils de la roue dérailleuse conservent un angle minimal de contact supérieur à 45°, proche de la valeur minimale de 46,6° du profil d'une roue théorique.

Un seul profil de la roue dérailleuse présente un angle de contact chutant en deçà de 40°, mais sans se maintenir sur la longueur de 200 mm fixée dans les critères de l'ORE. Il existe donc une variabilité de l'angle de contact en fonction du secteur angulaire (donc des caractéristiques du bourrelet) de la roue dérailleuse. Pour l'ensemble des profils, cette variabilité d'angle de contact ne s'exprime que sur les 200 premiers millimètres du contact de la roue avec l'aiguille (de 300 à 500 mm à partir de la PRA).

Les minimums d'angle de contact correspondent à des positions où les bourrelets de la roue dérailleuse sont les plus marqués.

6.5 - Simulations numériques

Les simulations numériques ont été diligentées par la RATP : le train, les bogies et l'infrastructure sont modélisés en paramétrant leurs caractéristiques, l'objectif est alors de reproduire la montée de roue en faisant varier certains paramètres.

Ces simulations ont été faites avec le logiciel commercial SIMPACK : le matériel roulant est modélisé par des corps rigides reliés entre eux par une chaîne cinématique (ressorts, amortisseurs). Les rails (section courante et aiguille) sont modélisés en intégrant la géométrie obtenue à partir des relevés de terrain.

À partir des premières simulations, des jeux de paramètres ont été retenus comme jugés réalistes (en tenant compte des mesures et constats faits après le déraillement) et influents sur la levée de roue.

Les constats les plus importants ont orienté le calage du modèle :

- Le profil de la roue dérailleuse : une roue avec bourrelet génère une montée de roue plus importante qu'une roue sans bourrelet.
- Une montée de roue est observée pour chaque roue d'attaque avec bourrelet sur l'aiguille réelle.
- Avec la roue déraillee modélisée avec son bourrelet tel que constaté et mesuré lors des expertises après accident, un soulèvement de roue est observé avec l'aiguille réelle, alors que la roue ne se soulève pas avec l'aiguille théorique. Avec l'aiguille réelle le bourrelet prend appui sur le sommet de l'aiguille avec un faible angle de contact (de l'ordre de 40°) : un faible effort d'inscription peut alors conduire au déraillement.

	Roue dérailleuse (bourrelet)	Roue reprofilée	Roues d'attaque des essieux de la rame (profil roue dérailleuse)	Roue suiveuse (profil roue dérailleuse)
Aiguille réelle (profil reconstitué)	Oui environ 3 mm, angle de contact mini : 40°	Non	Oui 2 à 4 mm	Non
Aiguille théorique	Peu significatif angle de contact > 50°	---	---	---

Tableau 4 : influence de l'usure de l'aiguille et du profil de roue sur la montée de roue

Pour tenter de simuler le déraillement, un important effort d'inscription a été ajouté aux paramètres de simulation : la roue d'attaque est soulevée plus haut (7 mm) mais ne déraille pas car elle prend appui sur la contre-aiguille avant de retomber le long du flanc droit de l'aiguille.

D'autres simulations numériques ont été faites faisant varier les paramètres pour tenter de reproduire la montée de roue et le déraillement de la roue dérailleuse. Pour ce faire d'importants calages du modèle ont été faits. Les paramètres relatifs à la voie ferrée et au matériel roulant qui possiblement peuvent avoir une influence significative sur la levée de roue ont été analysés :

- La géométrie de la voie avant l'aiguille a très peu d'impact sur le déraillement, mis à part le gauche dynamique.
- La raideur des suspensions primaires (verticales) n'a pas d'influence sur la montée de roue.
- L'amortissement anti-lacet caractérise l'amortissement dans la liaison caisse-bogie. Paramétré dans le modèle, son influence sur la montée de roue n'est pas nulle : un

affaiblissement des caractéristiques de l'amortisseur réduit légèrement la montée de roue.

- Le taux de déchargement (différence de charge des roues d'un bogie en statique et à plat) : la variation du paramètre de déchargement met en évidence une montée de roue d'autant plus importante que le taux de déchargement est élevé. Le taux de déchargement à plat de la roue déraillante mesuré sur la caisse accidentée était de l'ordre de 10,5 %, ce qui correspond à une valeur usuelle pour ce type de matériel. Ce taux mesuré post déraillement ne permet pas d'estimer avec précision le taux de déchargement à plat avant déraillement.
- Le coefficient de friction entre la table de roulement de la roue et le rail : sa variation du paramètre met en évidence une montée de roue d'autant plus importante que le coefficient de friction est important.
- Le coefficient de friction du contact boudin : ce paramètre permet de caractériser le niveau de frottement de la face active du boudin de roue sur l'aiguille. Une variation de ce coefficient entraîne une variation importante de la montée de roue.

Ce dernier paramètre, même s'il est théoriquement très influent n'a pas joué un rôle dans la montée de roue et le déraillement : la rugosité de la roue déraillante a été mesurée, elle est très faible et les premiers constats faits sur site après le déraillement ont relevé un graissage de l'aiguille de l'AdV n° 4621 tout à fait correct.

Aucun paramétrage du modèle n'a permis de reproduire le déraillement. Les phénomènes dynamiques physiques du contact rail/roue sont très complexes et leur modélisation ne permet pas toujours de reproduire tous ces phénomènes.

Cependant on peut distinguer deux paramètres : la roue avec bourrelet et l'aiguille usée sont prédominants pour simuler la montée de roue. La visualisation des profils apporte une explication : le dessous du bourrelet de la roue prend appui sur le sommet de l'aiguille usée avec un angle de contact faible de l'ordre de 40°.

Seule la combinaison roue avec bourrelet et aiguille usée permet de générer une montée de roue importante.

7 - Analyse des causes et recommandations

Malgré le nombre important de constatations, d'investigations, de mesures et de modélisations, il n'est pas possible de décrire avec certitude les phénomènes qui ont conduit au déraillement du RER B le 24 juin 2020, objet du présent rapport.

Aucun élément constitutif de l'infrastructure ou du bogie dérailleur ne présente d'anomalie de géométrie ou de défaut nécessitant une maintenance corrective, ni même préventive selon les critères de maintenance et de réparation des référentiels techniques de la RATP.

Les simulations numériques ont cependant permis d'identifier deux facteurs contributifs dont la concomitance est probablement à l'origine du déraillement par montée de roue :

- le bourrelet de la roue dérailleuse ;
- l'usure du sommet de l'aiguille.

S'ajoutent des éléments de contexte qui ont pu aggraver le phénomène de montée de roue :

- le train circulait vide ;
- la géométrie de l'infrastructure favorisant les mouvements de caisse : courbes serrées en S de part et d'autre de l'aiguille, coudage de la file de droite à la jonction entre la section courante et l'AdV n° 4621, variations de l'écartement des voies de part et d'autre de la pointe de l'aiguille de l'AdV n° 4621.

Enfin, l'aiguille de l'AdV n° 4621 était certainement très légèrement décollée, des traces de roues et l'usure du sommet de l'aiguille étant visibles avant PRA+ 200 mm, sans qu'il soit possible de déterminer depuis quand ce décollement s'est opéré. Ce probable décollement sans décontrôle de l'aiguille, a pu lui aussi favoriser la montée de roue et créer une variation de l'écartement des voies.

Les bourrelets de roue semblent donc d'après toutes les investigations menées, et tout particulièrement les simulations numériques, le paramètre le plus influent. Les expertises des roues des trains de la ligne du RER B montrent que ce phénomène de déformation des roues n'est pas isolé, mais concerne un pourcentage significatif de roues avant gauche des trains de la ligne du RER B.

La déformation des roues reflète un déplacement de matière par fluage, elle est donc générée par des efforts trop importants dans les roues. Les secteurs de l'infrastructure où ces efforts sont importants, ont été identifiés avec un train instrumenté. Ces secteurs présentent tous des rayons faibles.

Les études et recherches déjà menées par la RATP pourraient alors être poursuivies pour identifier avec précision les secteurs où les bourrelets se développent, mieux comprendre la dynamique d'évolution de ces bourrelets et adapter la stratégie de maintenance des roues, par exemple :

- en analysant les changements dans le choix des matériels et matériaux opérés depuis quelques années pour la maintenance, des bogies, des rails et des aiguillages, le phénomène n'ayant été détecté que récemment sur la ligne B ;
- en parallèle, en analysant l'évolution des bourrelets en fonction de la circulation des trains, des itinéraires empruntés (secteurs où les efforts dans les roues, mesurés par le train d'essai sont importants).

En l'absence d'identification plus précise des causes, il convient surtout de surveiller l'apparition des bourrelets sur les roues des bogies des RER B et d'opérer une maintenance corrective selon des critères de dimensions (seuils) à définir. Depuis les premières conclusions des expertises menées, la maintenance des bogies des rames du RER B par la RATP a fiabilisé les procédures de contrôle avec le déploiement d'outils automatiques de mesure des profils de roue permettant de détecter et mesurer les bourrelets) et redéfinit des seuils d'intervention en maintenance de suppression des bourrelets de roue.

Dans la continuité de cette action engagée sur ce facteur contributif, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

Recommandation R1 adressée à la RATP :

Formaliser dans les référentiels de maintenance :

- **la surveillance de l'apparition de bourrelet et les critères de dimensions admissibles sur les roues des bogies des trains de la ligne B du RER ;**
- **ainsi que les opérations de correction à apporter dès que les dimensions des bourrelets dépassent les critères.**

Le second facteur ayant favorisé la montée de roue et le déraillement est l'usure de l'aiguille, présentant un flanc meulé et une ligne haute abaissée par endroits. Bien que sa géométrie soit conforme au référentiel de maintenance de la RATP, la simulation numérique a mis en évidence un engrènement de la roue avec bourrelet sur le flanc de l'aiguille usée et meulée. Aussi le BEA-TT émet la recommandation suivante :

Recommandation R2 adressée à la RATP :

Revoir les principes de surveillance et de maintenance des appareils de voie dont la géométrie est semblable (critères géométriques à définir) à celle de l'AdV n° 4621, notamment les référentiels d'usure, les pratiques de meulage et les critères de remplacement des aiguilles.

Les dégradations de l'aiguille et les traces de contact de roue à proximité des pointes d'aiguille (avant PRA + 200 mm) peuvent être symptomatiques de problèmes (usure, décollement...) ayant pu favoriser la montée de roue.

C'est pourquoi le BEA-TT invite la RATP à surveiller, à titre d'étude, les traces de roues à proximité des pointes d'aiguille et d'en chercher les causes lorsqu'elles sont détectées.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Examen des données de l'enregistreur de bord du train

Annexe 3 : Cas similaires de déraillement par montée de roue

Annexe 4 : Règlement général sur la protection des données

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
SECRETARIAT D'ÉTAT CHARGÉ DES TRANSPORTS



La Défense, le 25 juin 2020

DECISION

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

Vu le code des transports et notamment les articles L. 1621-1 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 relatifs, en particulier, à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances du déraillement d'une rame du RER B survenu le 24 juin 2020 près de la station Denfert-Rochereau (Paris) ;

Décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-1 et R. 1621-22 du code des transports concernant le déraillement d'une rame du RER B survenu le 24 juin 2020 à proximité de la station Denfert-Rochereau (Paris).

Jean PANHALEUX

Annexe 2 : Examen des données de l'enregistreur de bord du train

Les données de l'enregistreur de bord EPE⁴ ont été exploitées.

La vue suivante montre un extrait des données issues de l'enregistrement de la rame le jour de l'accident.

Heure	Distance	Vitesse	Libellé
18:47:02	00.00	0	Mise en mouvement
18:47:02	00.00	3	Seuil Vitesse
18:47:02	00.00	5	Seuil Vitesse
18:47:02	00.00	8	Seuil Vitesse
18:47:02	00.00	10	Seuil Vitesse
18:47:02	00.01	13	Seuil Vitesse
18:47:02	00.01	15	Seuil Vitesse
18:47:02	00.01	18	Seuil Vitesse
18:47:02	00.02	20	Seuil Vitesse
18:47:12	00.03	20	Sens de marche sur 0 ou MP.TR.FR sur 0 ou FR
18:47:12	00.03	20	MP.TR.FR sur F ou URG
18:47:12	00.03	21	Franch. SO RS/KVB (RATP: VL, R30, R60)
18:47:12	00.03	21	Fin franch. SO RS/KVB (RATP: VL, R30, R60)
18:47:12	00.04	17	Seuil Vitesse
18:47:12	00.04	15	Seuil Vitesse
18:47:16	00.05	14	MP.TR.FR hors F ou URG
18:47:16	00.05	14	Sens de marche hors 0 ou MP.TR.FR sur T
18:47:16	00.05	12	Seuil Vitesse
18:47:16	00.05	10	Seuil Vitesse
18:47:16	00.06	13	Seuil Vitesse
18:47:16	00.06	15	Seuil Vitesse
18:47:16	00.07	18	Seuil Vitesse
18:47:16	00.08	20	Seuil Vitesse
18:47:44	00.19	20	Appui sur BP(VG)
18:47:44	00.19	20	Fin d'appui sur BP(VG)
18:47:46	00.20	21	Appui sur BP(VG)
18:47:46	00.20	21	Appui sur BP(VG)
18:47:46	00.21	21	Fin d'appui sur BP(VG)
18:47:52	00.23	21	Franch. SO RS/KVB (RATP: VL, R30, R60)
18:47:52	00.23	21	Fin franch. SO RS/KVB (RATP: VL,R30, R60)
18:47:52	00.25	23	Seuil Vitesse
18:48:16	00.39	22	Sens de marche sur 0 ou MP.TR.FR sur 0 ou FR
18:48:16	00.39	20	Seuil Vitesse
18:48:16	00.40	17	Seuil Vitesse
18:48:16	00.40	15	Seuil Vitesse
18:48:20	00.41	13	MP.TR.FR sur F ou URG
18:48:20	00.41	12	Seuil Vitesse
18:48:20	00.41	12	MP.TR.FR hors F ou URG
18:48:20	00.41	10	Seuil Vitesse

4 EPE : Enregistrement des Paramètres d'Exploitation : c'est un dispositif qui enregistre des informations relatives au fonctionnement et aux différentes actions sur les commandes effectuées dans la rame.

Annexe 3 : Cas similaires de déraillement par montée de roue

Les causes de déraillement survenues par montée de roue sont diverses et pas toujours mises en évidence.

Il peut s'agir

➤ de défauts de l'infrastructure :

- défauts répétitifs entraînant des oscillations transversales d'un wagon,
- un défaut longitudinal d'une voie par affaissement,
- jeu dans les systèmes d'attache des rails en courbe,
- écartement entre rail insuffisant, combiné avec une inclinaison d'un rail à l'extérieur d'une courbe.

➤ mais également des trains : défauts de freinage entraînant une déformation d'une roue,

➤ ou encore d'une combinaison de défauts de l'infrastructure et des roues de bogie : cas de deux déraillements du RER B sur le site de remisage de Massy.

Un déraillement quasi identique à celui du RER à Denfert-Rochereau : montée de roue dans un appareil de voie n'a pas pu être expliqué.

Sur la ligne B du RER : deux autres déraillements par montée de roue, en 2009 et 2012, tous deux survenus sur le site de remisage de Massy, au passage de l'appareil de voie 5058 pris par la pointe en voie déviée (aiguille courbe) et avec le même type de train MI79.

En 2009 : l'expertise Voie de l'appareil 5058 a permis de révéler la présence d'ébréchures de dimensions compatibles avec les critères de sécurité. L'analyse avait également montré que la roue d'attaque du bogie avant de la remorque 28125 présentait un bourrelet dans la zone de mesure du Qr. Ce défaut associé au défaut sur l'aiguille crée un angle de contact légèrement inférieur à 40° sur une longueur inférieure à 200 mm : les recommandations de l'ORE (Office de Recherche et d'Essais de l'UIC, remplacé par l'ERRI : European Rail Research Institute) en matière de sécurité au déraillement sont respectées.

En 2012 : le déraillement du 26 mai 2012 résulte d'une montée de la roue d'attaque de l'essieu défreiné d'une remorque MI79 28320 sur l'aiguille courbe de l'AdV 5058. Les deux bogies de la remorque ont déraillé.

Les défauts de bourrelet qui avaient été considérés comme un facteur causal dans l'origine du déraillement de 2009 n'ont pas été retrouvés.

Une augmentation de la fréquence d'apparition d'ébréchures nécessitant des opérations de meulages de plus en plus rapprochées avait été constatée.

Ces deux incidents ont conduit à la mise en œuvre des mesures correctives suivante :

➤ Infrastructures :

Un plan de maintenance spécifique (en sus de la gamme préventive) sur les 2 AdV 5057 et 5058 montés pointe à pointe permettant de prévenir l'apparition d'ébréchures, de surveiller leur évolution et d'augmenter les marges de sécurité a été mis en place. La vitesse d'usure de l'aiguille de gauche de l'appareil 5057 étant aussi rapide que celle de l'aiguille de droite de l'appareil 5058, la décision d'inclure l'appareil 5057 dans le plan de maintenance a été prise en réunion sécurité ferroviaire le 5 septembre 2016.

En dehors de ce plan de maintenance spécifique, les cycles des contrôles d'usures des demi-aiguillages et de la révision cyclique de la manœuvre ont évolué pour l'AdV 5058, en passant de 1 an à 6 mois.

D'autre part, indépendamment des plans d'actions, l'alignement droit entre pointes des AdV 5058 et 5057 a été augmenté en 2014.

➤ Matériel roulant

Au niveau du plan de maintenance du matériel roulant, un contrôle renforcé de l'aspect des roues du parc a été mis en place à partir de 2011 impliquant le retrait du train pour reprofilage des roues en présence d'un bourrelet.

Déraillement d'un train de fret le 13 juin 2006 à La Ferté-sur-Chiers (08), juin 2006

Un train de minerai de fer circulant à la vitesse de 100 km/h, de Dunkerque vers Dioulouard (Meurthe et Moselle), déraile du dernier wagon au niveau de la commune de La Ferté-sur-Chiers (Ardennes). L'essieu de tête de ce dernier wagon (d'un train comportant 44 wagons) est monté sur le rail externe, en sortie d'une courbe de 676 mètres de rayon.

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

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

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

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

Déraillement d'un train de charbon en 2010 à Bully-Grenay (62)

Les 19 wagons de tête d'un train de Fret SNCF dérailent à l'entrée de la gare de Bully-Grenay (62). Sur le premier wagon, on observe les indices d'un incident de frein : certaines semelles de frein sont rougies par la chaleur et fortement usées, les roues sont très chaudes et certaines présentent des méplats très importants avec creusement de leur table de roulement.

L'accident est dû à un dysfonctionnement du distributeur de frein du premier wagon du convoi qui a provoqué le blocage des deux premiers essieux, le creusement de leur table de roulement par le frottement sur le rail puis le déraillement sur la première aiguille de la gare de Bully-Grenay.

Ce dysfonctionnement est probablement dû à la présence, à l'intérieur du distributeur, de particules solides provenant d'un excès de colle de scellement laissé lors de la dernière révision de cet organe.

En raison du lieu où le blocage s'est réalisé et du peu d'indices apparents, l'anomalie n'a pas pu être détectée à temps par les agents du chemin de fer ni par les détecteurs automatiques.

Déraillement de trois wagons avec le heurt d'un TGV croiseur en 2011 à Valence-d'Agen (82)

La cause directe de l'accident est le délestage en courbe de la roue droite de l'essieu de tête du 19^e wagon du train de marchandises impliquées

Ce délestage est la conséquence d'un affaissement de la voie 1, d'une amplitude et d'une longueur inhabituelles, qui a engendré un ensemble de défauts de cette voie et, notamment, un défaut de nivellement transversal long d'une amplitude de 38 mm sur 30 m.

Ce défaut, qui est mal pris en compte par les systèmes de mesure de la géométrie de la voie et par les normes de maintenance, n'a pas conduit à imposer une limitation temporaire de vitesse. Combiné à d'autres défauts géométriques non-critiques, il a suffi à provoquer le délestage puis le soulèvement de la roue guidante d'un wagon trémie qui, lorsqu'il est chargé, possède une grande rigidité et un centre de gravité haut placé.

Déraillement d'un wagon de combustible nucléaire utilisé en 2013 dans le triage du Bourget à Drancy (93)

Le 23 décembre à 16 h 02, un wagon spécial à quatre bogies chargé de combustible déraile à faible vitesse au cours d'une manœuvre entre le faisceau de réception et le faisceau de formation du triage du Bourget à Drancy (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.

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

Belgique déraillement d'un train en 2012 à Melsele (Beveren-Waas)

Cause directe : état de l'infrastructure selon l'hypothèse retenue par l'Organisme d'Enquête, le déraillement du wagon 10 résulte de l'écartement des rails de la voie de garage et de l'inclinaison partielle d'un de ces rails dans la courbe. Une des roues est tombée à l'intérieur de la voie, l'autre est montée sur le rail extérieur de la courbe. L'écartement des rails de la voie et l'inclinaison partielle d'un de ces rails à l'extérieur de la courbe est la conséquence de la vétusté de plusieurs traverses et tirefonds de la voie de garage.

Selon notre analyse, lors de l'accélération du train, le mouvement poussé a créé d'importantes forces latérales, suffisantes pour provoquer un soulèvement des roues de la voiture. Le soulèvement de la roue provoque une perte de guidage des rails et le véhicule non guidé dévie de sa trajectoire, entraînant un premier déraillement et provoquant un début de mariage de butoirs entre les voitures en position 10 et en position 11. L'insuffisance de dévers, le mouvement de balancement et la différence de porte-à-faux (voiture de type différent) s'ajoutent et ont probablement contribué à la disparition partielle voire totale de la surface de contact entre les plateaux de butoir.

Annexe 4 : Règlement général sur la protection des données

Le bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) est investi d'une mission de service public dont la finalité est la réalisation de rapports sur les accidents afin d'améliorer la sécurité des transports terrestres (articles L. 1621-1 et 1621-2 du code des transports, voir la page de présentation de l'organisme).

Pour remplir cette mission, les personnes chargées de l'enquête, agents du BEA-TT habilités ainsi que d'éventuels enquêteurs extérieurs spécialement commissionnés, peuvent rencontrer toute personne impliquée dans un accident de transport terrestre (articles L. 1621-14) et recueillir toute donnée utile.

Ils traitent alors les données recueillies dans le cadre de l'enquête dont ils ont la responsabilité uniquement pour la seule finalité prédéfinie en garantissant la confidentialité des données à caractère personnel. Les rapports d'enquêtes sont publiés sans le nom des personnes et ne font état que des informations nécessaires à la détermination des circonstances et des causes de l'accident. Les données personnelles sont conservées pour une durée de 4 années à compter de la publication du rapport d'enquête, elles sont ensuite détruites.

Le traitement « Enquête accident BEA-TT » est mis en œuvre sous la responsabilité du BEA-TT relevant du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires (MTECT). Le MTECT s'engage à ce que les traitements de données à caractère personnel dont il est le responsable de traitement soient mis en œuvre conformément au règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données (ci-après, « *règlement général sur la protection des données* » ou RGPD) et à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés.

Les personnes concernées par le traitement, conformément à la législation en vigueur, peuvent exercer leurs droits auprès du responsable de traitement : **droit d'accès aux données, droit de rectification, droit à la limitation, droit d'opposition.**

Pour toute information ou exercice de vos droits, vous pouvez contacter :

1- Le responsable de traitement, qui peut être contacté à l'adresse suivante :

- à l'adresse : bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse suivante :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

A l'attention du directeur du BEA-TT

Grande Arche - Paroi Sud, 29^e étage, 92055 LA DEFENSE Cedex

2- Le délégué à la protection des données (DPD) du MTECT :

- à l'adresse suivante : dpd.daj.sg@developpement-durable.gouv.fr ;

- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse suivante :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

A l'attention du Délégué à la protection des données

SG/DAJ/AJAG1-2

92055 La Défense cedex

Vous avez également la possibilité d'adresser une réclamation relative aux traitements mis en œuvre à la Commission nationale informatique et libertés (3 Place de Fontenoy - TSA 80715 - 75334 PARIS CEDEX 07).



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex

Téléphone : 01 40 81 21 83

bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

