BEATT Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre

RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE

sur le heurt d'un poids lourd par un train express régional survenu le 24 février 2022 sur le passage à niveau n° 22 à Hochfelden (67)

août 2024

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

- **ATESS** : acquisition et traitement des évènements de sécurité en statique
- **AC** : agent circulation de SNCF Réseau
- **ADC** : agent de conduite de l'entreprise ferroviaire (ici SNCF Voyageurs)
- **BP-URG** : bouton poussoir déclenchant le freinage d'urgence (du train)
- **EF** : entreprise ferroviaire (ici SNCF Voyageurs)
- **FU** : freinage d'urgence
- **GI** : gestionnaire des infrastructures ferroviaires
- **IPCS :** installations (ferroviaires) permanentes de circulation à contresens
- **PL** : poids lourds
- **PN** : passage à niveau
- **SAL** : signal d'alerte lumineux (du train)
- **SAR** : signal d'alerte radio (du train)
- **TE** : transport exceptionnel

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT)
Titre du document : Rapport d'enquête technique sur le heurt d'un poids lourd par un train express régional survenu le 24 février 2022 sur le passage à niveau n° 22 à Hochfelden (Bas-Rhin)
Affaire n° BEATT-2022-01
N° ISRN : EQ-BEATT—24-5-FR
Proposition de mots-clés : passage à niveau, poids lourd, accident, déraillement

Synthèse

Le jeudi 24 février 2022, vers 10 h 30, le train express régional n° 835 016 constitué d'une rame Régiolis avec six caisses, transportant une soixantaine de passagers de Strasbourg vers Nancy, a percuté un poids lourd et sa remorque, immobilisés sur le passage à niveau (PN) n° 22 sur la commune de Hochfelden dans le Bas-Rhin.

Le train, qui circulait à 143 km/h au moment du choc, s'est arrêté 950 mètres après le PN 22 après un freinage d'urgence. Le premier bogie de la motrice de tête a déraillé. Le conducteur du train a été en capacité de lancer les alertes pour que soient arrêtées les autres circulations ferroviaires.

La remorque, le poids lourd porteur et les deux bennes métalliques transportées ont été endommagés. Le conducteur du poids lourd, qui avait évacué les lieux avant le choc, n'a pas été blessé.

Les infrastructures ferroviaires ont été fortement endommagées au niveau du PN et sur plusieurs centaines de mètres. Des équipements de signalisation, de la voie, et d'alimentation électrique ont été détruits, entraînant l'arrêt des circulations ferroviaires pendant une dizaine de jours. Une habitation a été heurtée par une benne et a vu sa structure fragilisée.

La cause directe de l'accident est l'immobilisation de l'ensemble routier sur les voies ferrées peu de temps avant l'arrivée du train.

Cet ensemble routier circulait sans difficulté jusqu'à son arrivée sur le passage à niveau. Après un arrêt, probablement réalisé pour laisser passer un autre poids lourd arrivant en face, le conducteur a fait redémarrer son véhicule avec difficultés, selon son témoignage, et à faible vitesse. L'ensemble routier s'est ensuite immobilisé au bout de 10 secondes sans avoir terminé complètement la traversée des voies ferrées. Il n'a pas pu se déplacer ensuite jusqu'à la collision. L'enquête technique n'a pas pu déterminer les causes de ces difficultés au redémarrage.

Aucun élément dans la conduite du train n'est apparu comme une cause ou un facteur contributif de l'accident.

Les installations du PN ont correctement fonctionné.

Un des passagers du train, gravement blessé lors de l'accident, est décédé quelques jours après. Cinq autres passagers ont été blessés dont un grièvement.

Le BEA-TT formule des recommandations et des invitations dans les thèmes suivants :

- la maîtrise des commandes de leur véhicule par les conducteurs de poids lourds, ainsi que leurs connaissances du risque de rester immobilisés sur un PN ;
- la détection d'un véhicule immobilisé sur le platelage d'un PN ;
- le déplacement latéral des poteaux caténaires situés au plus près d'un PN ;
- les conséquences d'un choc majeur sur l'attelage automatique du train ;
- le maintien des capacités d'enregistrement des évènements du train après un choc ;
- l'association du sifflet du train avec le freinage d'urgence.

Summary (*english version*)

On Thursday February 24, 2022, at around 10:30 a.m., regional express train no. 835 016, carrying around 60 passengers from Strasbourg to Nancy, collided with a heavy goods vehicle (HGV) and its trailer, immobilized on level crossing (LC) no. 22 in the commune of Hochfelden, Bas-Rhin.

The train, travelling at 143 km/h at the time of impact, came to a halt 950 m beyond LC 22 after emergency braking. The first bogie derailed. The train driver was able to sound the alarm to stop all other rail traffic.

The trailer, the truck and the two metal skips were damaged. The truck driver, who had evacuated the scene before the collision, was uninjured.

The railway infrastructure was heavily damaged at the level of the level crossing and over several hundred metres. Signalling, track and power supply equipment were destroyed, bringing rail traffic to a standstill for around ten days. A house was hit by a skip and its structure weakened.

The direct cause of the accident was the immobilization of the truck on the tracks shortly before the arrival of the train.

The vehicle was travelling smoothly until it reached the level crossing. After coming to a halt, probably to let another HGV pass, the driver restarted his vehicle with difficulty, according to his testimony, and at low speed. The vehicle came to a halt after 10 seconds, without having completely crossed the tracks. It was then unable to move until the collision. The technical investigation was unable to determine the causes of these restarting difficulties.

No element in the train's operation appeared to be a cause or contributory factor in the accident.

The level crossing installations functioned correctly.

One of the train's passengers, seriously injured in the accident, died a few days later. Five other passengers were injured, one of them seriously.

The BEA-TT formulates recommendations and invitations in the following themes :

- HGV drivers' control of their vehicles, and their knowledge of the risk of becoming immobilized on an level crossing ;
- how to detect a vehicle immobilized on the planking of a level crossing ;
- the lateral displacement of catenary poles located as close as possible to an level crossing ;
- the consequences of a major impact on the train's automatic coupler ;
- maintaining the train's ability to record events after a collision ;
- the association of the train whistle with emergency braking.

SOMMAIRE

SYNTHÈSE....1

SUMMARY (*ENGLISH VERSION*)....2

1 - LES CONSTATS IMMÉDIATS ET L'ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE....4
1.1 - Les circonstances de l'événement....4
1.2 - Le bilan humain et matériel....5
1.3 - L'engagement et l'organisation de l'enquête....6

2 - LE CONTEXTE DE L'ACCIDENT....7
2.1 - Les conditions météorologiques et le calendrier....7
2.2 - L'environnement immédiat du lieu de l'accident....7
2.3 - Les infrastructures routières....8
2.4 - La ligne ferroviaire entre Strasbourg et Noisy-le-Sec....13
2.5 - Les caractéristiques générales du passage à niveau....15

3 - LE COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES....18
3.1 - L'état des lieux après l'accident....18
3.2 - Les résumés des témoignages....21
3.3 - L'ensemble routier et son conducteur....25
3.4 - Le train express régional, son conducteur et ses passagers....38
3.5 - Les dégâts causés aux infrastructures et à l'environnement....47
3.6 - Approfondissement sur le déraillement....49
3.7 - Approfondissement sur les chocs....52

4 - LE DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET L'INTERVENTION DES SECOURS....55

THE ACCIDENT AND EMERGENCY RESPONSE (*ENGLISH VERSION*)....57

5 - L'ANALYSE DES CAUSES ET DES FACTEURS ASSOCIÉS, LES ORIENTATIONS PRÉVENTIVES....59
5.1 - L'arbre des causes....59
5.2 - La gestion des places de stationnement à proximité du PN....61
5.3 - La gestion des commandes du PL....62
5.4 - La détection d'un obstacle sur le PN....64
5.5 - La présence des premiers poteaux caténaires à proximité du PN....67
5.6 - Le comportement de l'attelage automatique du train après le choc....69
5.7 - La perte des capacités d'enregistrement des évènements du train....70
5.8 - L'absence d'utilisation du sifflet du train....72

RECOMMENDATIONS (*ENGLISH VERSION*)....73

6 - LA SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS ET DES INVITATIONS....83
6.1 - La gestion des places de stationnement à proximité d'un PN....83
6.2 - La gestion des commandes du poids lourd....83
6.3 - La détection d'un obstacle sur le PN....83
6.4 - La présence des premiers poteaux caténaires à proximité du PN....83
6.5 - Le comportement de l'attelage automatique du train après le choc....84
6.6 - La perte des capacités d'enregistrement des évènements du train....84
6.7 - L'absence d'utilisation du sifflet du train....84

SUMMARY OF RECOMMENDATIONS AND INVITATIONS (*ENGLISH VERSION)*....85

ANNEXE : DÉCISION D'OUVERTURE D'ENQUÊTE....87

RÈGLEMENT GÉNÉRAL DE PROTECTION DES DONNÉES....88

1 - Les constats immédiats et l'engagement de l'enquête

1.1 - Les circonstances de l'événement

Le jeudi 24 février 2022, vers 10 h 30, le train express régional n° 835 016 avec une soixantaine de passagers à bord en provenance de Strasbourg (67) et à destination de Nancy (54), a percuté un ensemble routier sur le passage à niveau (PN) n° 22 sur la commune de Hochfelden dans le Bas-Rhin.

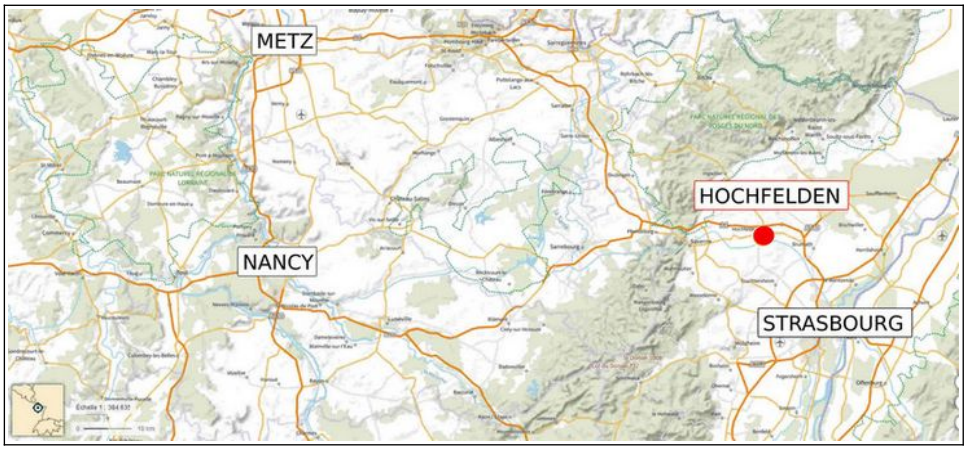


Figure 1 : Localisation régionale de l'accident
Fond de carte Géoportail-IGN, légende BEA-TT

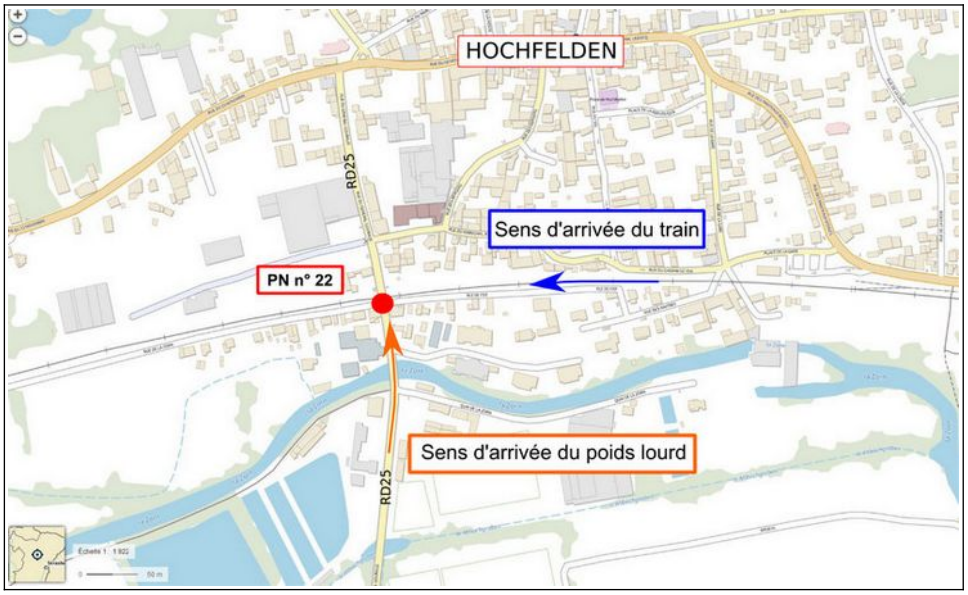


Figure 2 : Localisation communale de l'accident
Fond de carte Géoportail-IGN, légende BEA-TT

L'ensemble routier était composé d'un poids lourd tractant une remorque et portant chacun une benne métallique vide. Ces bennes, par souci de clarté dans ce rapport, seront appelées benne pour celle portée par le PL et caisson pour celle portée par la remorque.

Il circulait du sud vers le nord sur la route départementale n° 25. Le train express régional circulait d'est en ouest.

1.2 - Le bilan humain et matériel

Cette collision a occasionné la mort d'un passager du train, des blessures graves à un autre passager et des blessures légères à quatre autres. Le conducteur de l'ensemble routier, qui avait quitté le PN avant le choc, n'a pas été blessé.

Du point de vue du matériel, l'ensemble routier a été coupé en deux et projeté de chaque côté des voies ferrées.

La remorque et son caisson ont été projetés sur le côté gauche, contre une habitation située à une dizaine de mètres des voies ferrées et un poteau caténaire. *Photo SNCF Réseau*

Le porteur et sa benne ont été projetés sur le côté droit à proximité des guérites du PN. *Photo SNCF Réseau*

Le train a été fortement endommagé principalement sur la partie avant et du côté droit suite aux divers chocs.

Les impacts latéraux sur la première et la troisième voiture. *Photo SNCF Réseau*

Les impacts latéraux frontaux sur la motrice à l'avant du train. *Photo SNCF Réseau*

Les installations du PN et les infrastructures ferroviaires ont été fortement endommagées par la violence des chocs, ainsi que par le déraillement du train. Tous les éléments de la voie sont concernés ainsi que les guérites et les équipements du PN 22.

Le train s'est arrêté 950 mètres en aval du PN 22 après un freinage d'urgence.

La circulation ferroviaire a été totalement interrompue sur les deux voies de cet axe du réseau ferré national (RFN). Elle a été rétablie progressivement à partir du 7 mars, soit 12 jours après l'accident.

1.3 - 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 9 mars 2022 une enquête technique, en application des articles L. 1621-1 à L. 1622- 2 du Code des transports.

Les enquêteurs du BEA-TT se sont rendus sur place quelques jours après l’accident. Ils ont pu rencontrer les représentants de l’entreprise ferroviaire SNCF Voyageurs, le conducteur du train ainsi que des représentants du gestionnaire de l’infrastructure ferroviaire SNCF Réseau. Au cours des investigations, ils ont pu échanger avec des représentants du transporteur routier MAUFFREY Alsace.

Ils ont eu accès aux pièces de l’enquête judiciaire dirigée initialement par le procureur de la République de Strasbourg, puis confiée à un premier puis à un second juge d’instruction. En particulier, ils ont pu accéder aux rapports d’expertise judiciaire de l’ensemble routier, du train et des infrastructures ferroviaires.

2 - Le contexte de l’accident

2.1 - Les conditions météorologiques et le calendrier

À Hochfelden, la journée du jeudi 24 février 2022 était sans pluie avec des températures minimales positives d’après Météo France. Au moment de la collision, les infrastructures routières et ferroviaires étaient sèches.

Aucun phénomène de brouillard n’a été observé au moment de l’accident. La visibilité et les conditions de conduite étaient normales.

D’azimut de 143° et d’élévation de 25°, la position du soleil proche du sud-est à 10 h 30 du matin ne gênait ni la circulation routière sur la RD 25 dans un trajet du sud vers le nord, ni la circulation ferroviaire dans un trajet d’est vers l’ouest.

Aucun chantier de travaux sur les infrastructures ferroviaires ou routières n’a été signalé à proximité du lieu de la collision.

2.2 - L’environnement immédiat du lieu de l’accident

La commune de Hochfelden est couverte par un plan local d’urbanisme intercommunal de la communauté de communes du Pays de la Zorn, validé le 19 décembre 2019 et ayant été modifié le 7 juillet 2022. Ce plan dresse un état des lieux des constructions et des activités de la zone, et prévoit les aménagements futurs. Les enjeux des transports routiers à proximité du PN 22 ne sont pas identifiés dans ce document.

Un peu plus de 100 mètres au nord du PN se situent des bâtiments d’activités industrielles (une brasserie). Ces activités engendrent des circulations de PL.

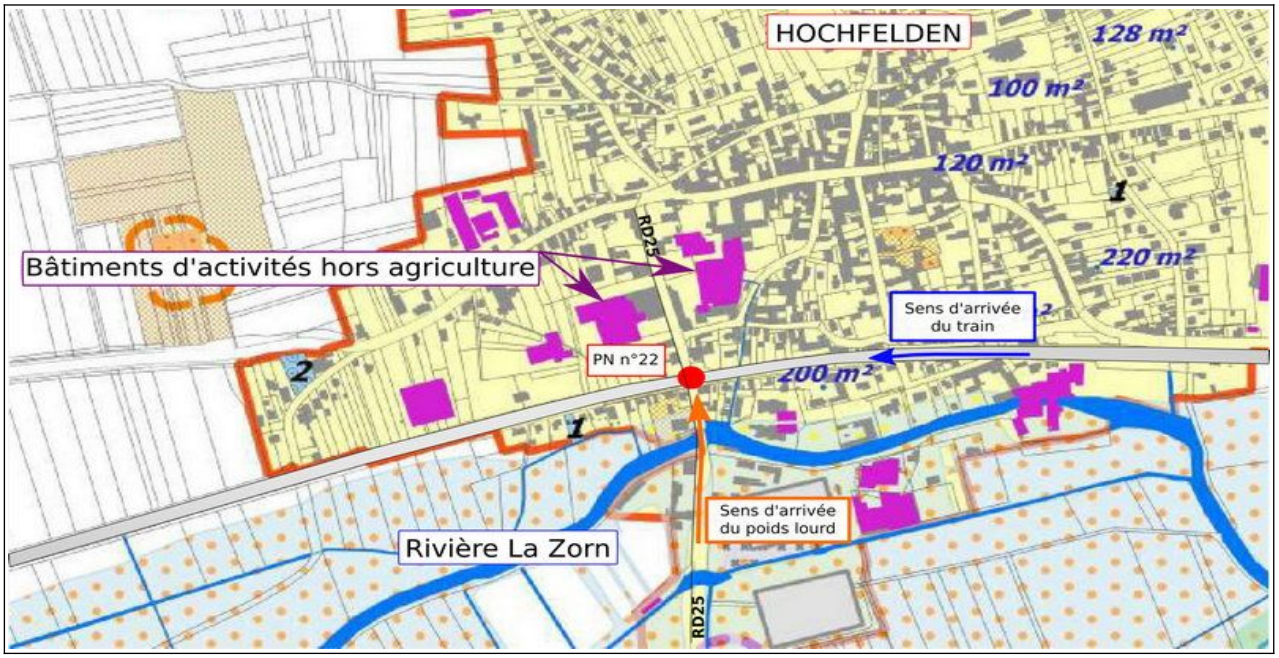


Figure 3 : Environnement immédiat du PN n° 22
Fond de carte PLUi du Pays de la Zorn, légende BEA-TT

2.3 - Les infrastructures routières

Le PN 22, situé en agglomération sur le territoire de la commune de Hochfelden, permet la traversée des deux voies ferrées par la route départementale RD 25 gérée par la collectivité européenne d'Alsace (CEA). La RD 25 est dénommée « Rue du Général Gouraud » dans l'agglomération.

Cette route de desserte locale permet de rejoindre au nord l'autoroute A 4 via l'échangeur n° 46, d'accéder à la RD 421 pour les liaisons ouest-est, et au centre-ville de Hochfelden. Au sud, elle joue un rôle de desserte locale.

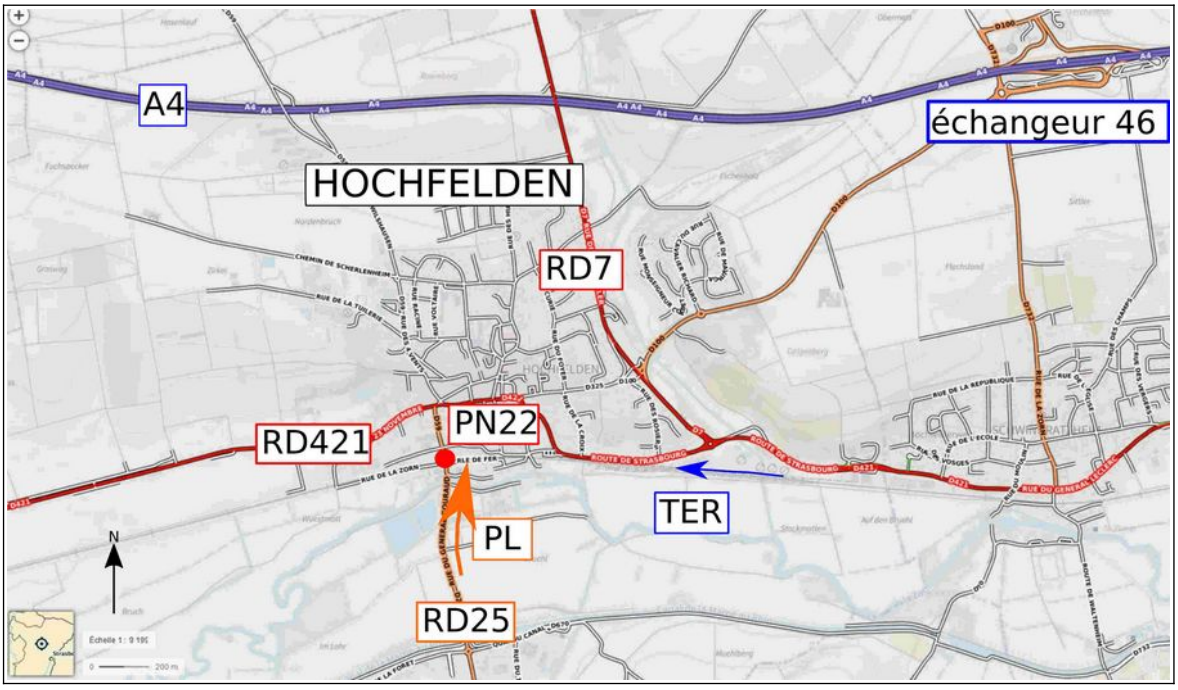


Figure 4 : Vue des infrastructures routières à proximité du PN n° 22
Fond de carte Géoportail-IGN, légendée BEA-TT

Cet axe supporte un trafic moyen journalier de 5 934 véhicules[1], dont 6 % de PL.

La circulation de convois exceptionnels, d'engins agricoles et de véhicules de transport en commun est mentionnée dans le diagnostic de sécurité du PN, sans être quantifiée.

Au moment de l'accident, cette section de la RD 25 faisait partie des itinéraires[2] retenus dans le département du Bas-Rhin pour faire circuler des convois exceptionnels ne dépassant pas 72 tonnes de masse totale maximale.

2.3.1 - Le tracé en plan de la route

La RD 25, dans le sens de circulation du poids lourd, comporte un cheminement droit d'une longueur de 100 mètres jusqu'au PN 22.

La traversée du PN, en ligne droite, mesure environ 9,50 mètres d'une demi-barrière à l'autre. Après le PN, la route continue en ligne droite pendant 130 mètres où elle croise les sorties de la brasserie. Ensuite, 230 mètres au nord du PN, la route est embranchée à la RD 421 par une intersection avec une gestion des priorités par cédez-le-passage.

1 d'après les comptages réalisés en décembre 2016.
2 Les différents itinéraires de transport exceptionnel peuvent être consultés sur le site internet de la délégation à la sécurité routière ainsi que sur le site internet du Géoportail

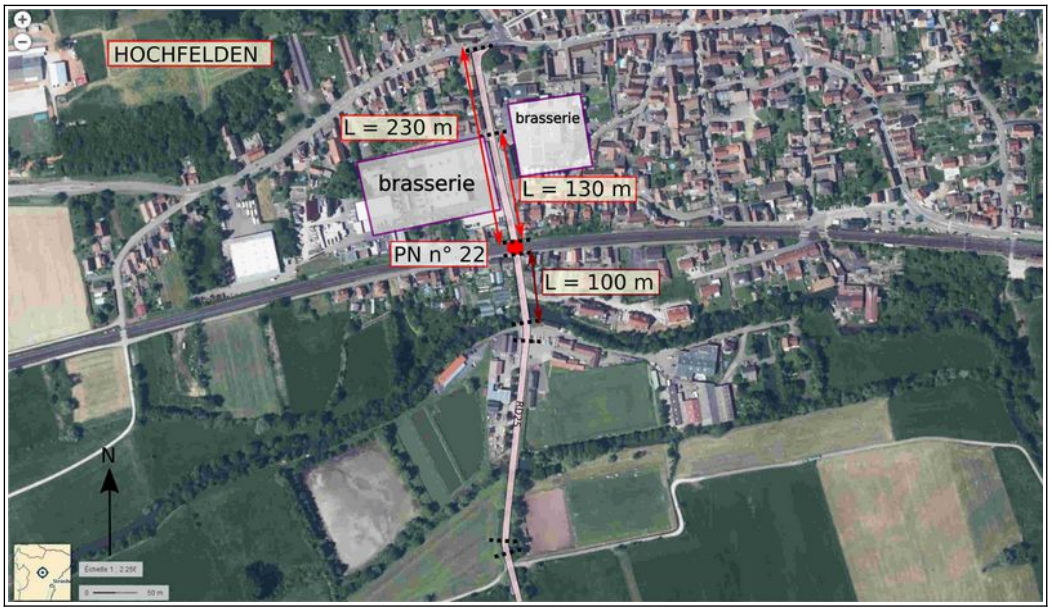


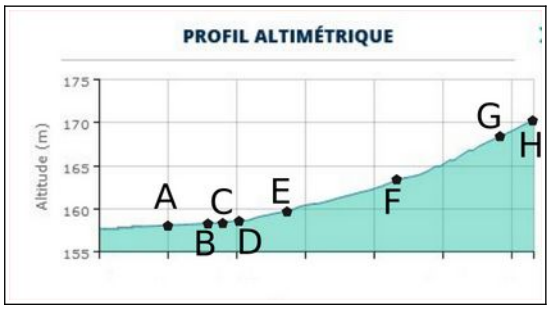
Figure 5 : Vue en plan des environs PN n° 22

Source Géoportail-IGN, légendé BEA-TT

2.3.2 - Le profil en long de la route

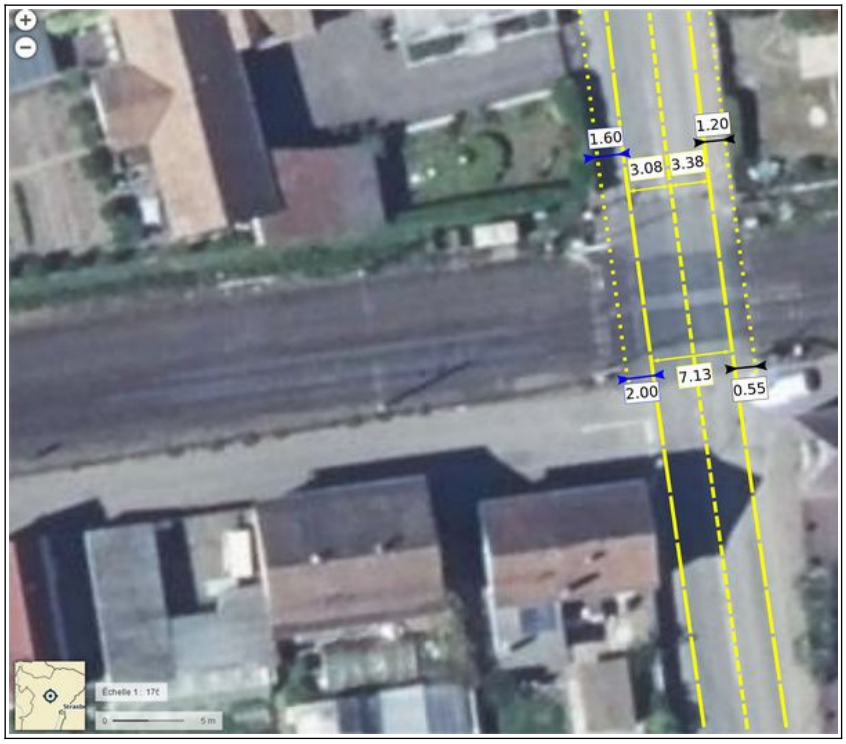
Figure 6 : Illustration du profil en long de la RD 25 sur et aux abords du PN n° 22
Source BEA-TT d'après les données Géoportail-IGN

Ce PN n'était pas classé, au moment de l'accident, comme un PN à franchissement difficile.



Les données altimétriques recueillies sur le Géoportail de l'IGN indiquent que l'approche du PN depuis le point A est en faible rampe, qui va s'accentuer après le franchissement de celui-ci.

2.3.3 - *Le profil en travers de la route*



La route bidirectionnelle comporte deux voies de circulation.

Leurs largeurs varient selon la proximité du PN.

À l'ouest, un trottoir d'une largeur comprise entre 1,60 et 2,00 m est présent.

À l'est, un trottoir d'une largeur comprise entre 0,55 et 1,20 m est présent.

La limite entre les trottoirs et les voies de circulation est matérialisée par des bordures en dehors du PN, et par un marquage au sol sur le PN.

Figure 7 : Illustration du profil en travers de la RD 25 à proximité du PN n° 22
Vue aérienne Géoportail IGN, légendé BEA-TT

Le jour de l'accident, trois emplacements de stationnement étaient autorisés et matérialisés sur la chaussée, au nord du PN et côté ouest.

D'une largeur de près de 1,90 m, ces emplacements s'arrêtaient à environ 17 m de la demi-barrière située au nord-ouest.

Les largeurs des deux voies de circulation étaient réduites à cause de ces places de stationnement.

Aucune place de stationnement n'était matérialisée au sud du PN.

Deux routes longeant les voies ferrées débouchent sur la route principale au sud et à proximité du PN.

Figure 8 : Profil en travers de la route au droit des trois places de stationnement au nord du PN n° 22
Vue aérienne Géoportail IGN, légendé BEA-TT
les mesures sont issues du dossier judiciaire

2.3.4 - Le revêtement de la chaussée

Le revêtement de la chaussée de la RD 25 à proximité du PN comporte plusieurs fissures longitudinales et transversales, sans influence sur la praticabilité de l'infrastructure.

La zone de transition entre les emprises routières et ferroviaires est traitée par des pentes régulières de l'ordre de 4 %, sans difficulté de franchissement pour la plupart des véhicules, y compris les véhicules lourds comme celui accidenté.

Le revêtement des éléments du platelage était en bon état général. Les principales traces relevées après l'accident sont, d'après les enquêteurs judiciaires, les traces transversales de ripage des pneumatiques de l'ensemble routier (voir § 3.3.5).

2.3.5 - La signalisation routière et les équipements du PN 22

Le PN 22 possède un système de signalisation automatique lumineuse et sonore, avec cinq feux rouges clignotants, deux sonneries non atténuées fonctionnant de jour comme de nuit, et comporte quatre demi-barrières (SAL 4).

Deux téléphones d'alerte en cas d'urgence reliés aux services de SNCF Réseau sont positionnés, un de chaque côté des voies ferrées.

De modèle ferroviaire, leur fonctionnement nécessite de soulever le combiné et d'appuyer sur un bouton pour lancer l'appel.

Dans le fonctionnement nominal, aucune tonalité ne s'entend dans le combiné jusqu'à la prise de parole du correspondant ferroviaire.

Photo BEA-TT

Dans le sens de circulation du convoi routier, les signaux suivants sont présents :

En amont du PN, à 80 m : un panneau de danger A7 qui annonce un passage à niveau muni de barrières et un panonceau « SIGNAL AUTOMATIQUE ».

Figure 9 : Localisation de la signalisation verticale d'approche du PN
Vue aérienne Géoportail IGN, légendé BEA-TT

- au droit du PN

Photo Google-Street-View

À gauche : une demi-barrière avec la lisse comportant des rectangles blancs et rouges, un panneau « DÉFENSE ABSOLUE DE TOUCHER AUX FILS ÉLECTRIQUES MÊME TOMBES À TERRE – DANGER DE MORT » en raison de l'éventuelle chute des fils de la caténaire.

Photo BEA-TT

À droite : un signal composé de trois feux clignotants rouges, une sonnerie, une demi-barrière avec la lisse comportant des rectangles blancs et rouges.

La signalisation d'approche ne comporte pas de balises J 10 d'avertissement. Cette absence est autorisée par les dispositions de l'article 9-2 de la première partie de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière IISR[3], puisque le PN 22 est automatique et situé en agglomération.

La hauteur des fils de contact des caténaires par rapport à la chaussée étant supérieure à 6 mètres, le PN ne fait pas l'objet de dispositions particulières en termes de signalisation routière de limitation de gabarit en hauteur.

Le marquage axial de la RD 25 est partiellement effacé en approche du PN et inexistant à ses abords immédiats. Aucun marquage de rive n'est présent, la distinction entre les voies et les trottoirs étant réalisée par des bordures en dehors du PN.

Les sonneries de ce PN cessent de tinter lorsque les demi-barrières atteignent leur position horizontale, ce qui est permis par la réglementation[4].

L'intérieur des lisses des demi-barrières de sortie comportait des autocollants « Barrière cassable », comme le prévoit la réglementation[5]. Ces lisses sont conçues pour qu'un usager bloqué sur le platelage puisse les heurter sans dommage pour son véhicule et s'échapper sans difficulté des emprises ferroviaires en les brisant.

2.3.6 - L'approche du PN 22 par la route

Dans le sens de circulation du convoi routier, le PN 22 se présente après une ligne droite au milieu des habitations.

Au droit du PN, la vitesse maximale autorisée sur la RD 25 est fixée à 50 km/h, en l'absence de limitation de vitesse spécifique.

La visibilité d'approche sur le PN et notamment ses feux est dépourvue d'obstacle visuel.

3 L'IISR est consultable sur le site internet https://equipementsdelaroute.cerema.fr/

4 Selon les dispositions de l'article 10 de l'arrêté du 18 mars 1991 modifié relatif au classement, à la réglementation et à l'équipement des passages à niveau « *les sonneries tintent dès l'allumage de ces feux et au minimum jusqu'à la fin de l'abaissement des demi-barrières* »

5 Selon les dispositions de l'article 9 du même arrêté : « *Au plus tard au 1er janvier 2020, l'exploitant ferroviaire informe visuellement les usagers du caractère cassable de la barrière sur les passages à niveau à quatre demi-barrières.* »

2.4 - La ligne ferroviaire entre Strasbourg et Noisy-le-Sec

Le PN 22 est situé au point kilométrique (PK) 474 + 171 de la ligne ferroviaire n° 070 000 entre Strasbourg et Noisy-le-Sec.

La section de ligne est définie à l'est par la gare de Strasbourg-ville au PK 502 + 000 et à l'ouest par la gare de Reding située au PK 435 + 200.

2.4.1 - Les informations générales sur cette ligne à proximité du PN 22

La section de ligne où s'est produite la collision comporte deux voies électrifiées en 25 kV alternatif. Elles supportent des circulations de trains de voyageurs (TER et Grande Ligne) et de marchandises, à la vitesse maximale autorisée de 160 km/h.

Chaque jour, 145 trains circulent sur cette section dans les deux sens cumulés, d'après SNCF Réseau.

Les communications entre les agents de conduite des trains et les agents circulation de SNCF réseau s'effectuent au moyen d'un système de radio sol-train de technologie GSM-R (Global System for Mobil communication for Railway) indépendant des réseaux publics de téléphonie mobile.

La circulation des trains s'effectue côté droit en Alsace et en Moselle, alors qu'elle est habituellement effectuée sur la voie de gauche sur le réseau ferré national (RFN).

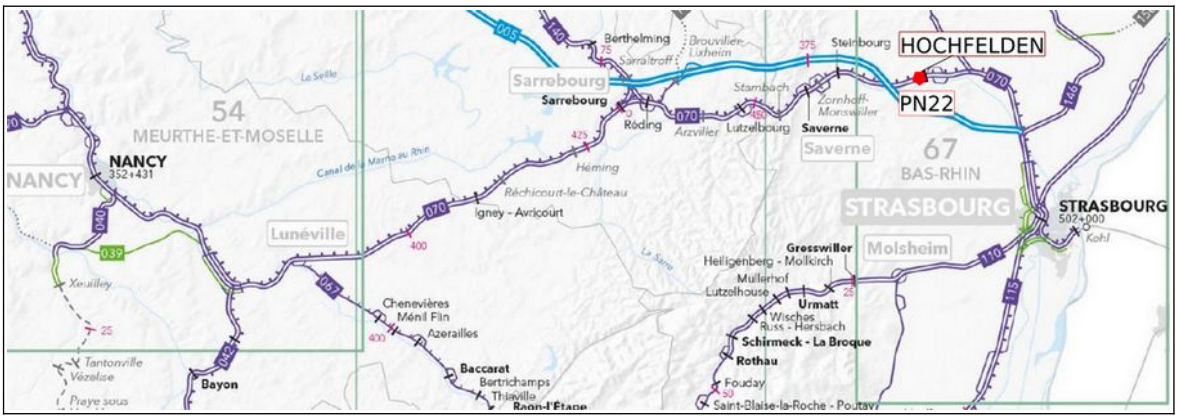


Figure 10 : plan de situation de l'accident du point de vue ferroviaire
Fond de carte Atlas du réseau ferré national de SNCF Réseau, légendé BEA-TT

2.4.2 - Les passages à niveau, les installations et les signaux ferroviaires à proximité du PN 22

Sur une distance d'un kilomètre, quatre PN et une gare encadrent le PN 22. Dans le sens de circulation du train :

- le PN 19, gardé et proche du poste d'aiguillage, est présent en amont de la gare de Hochfelden au PK 474 + 730 ;
- la gare de Hochfelden est située au PK 474 + 548 ;
- dans un espace géographique très resserré sont situés les PN 20 et PN 21, aux PK 474 + 516 et PK 474 + 502 ; configuration très inhabituelle et qui interpelle.
- le PN 22, lieu de l'accident, est situé au PK 474 + 171 ;
- enfin, le PN 23 est situé au PK 473 + 721.

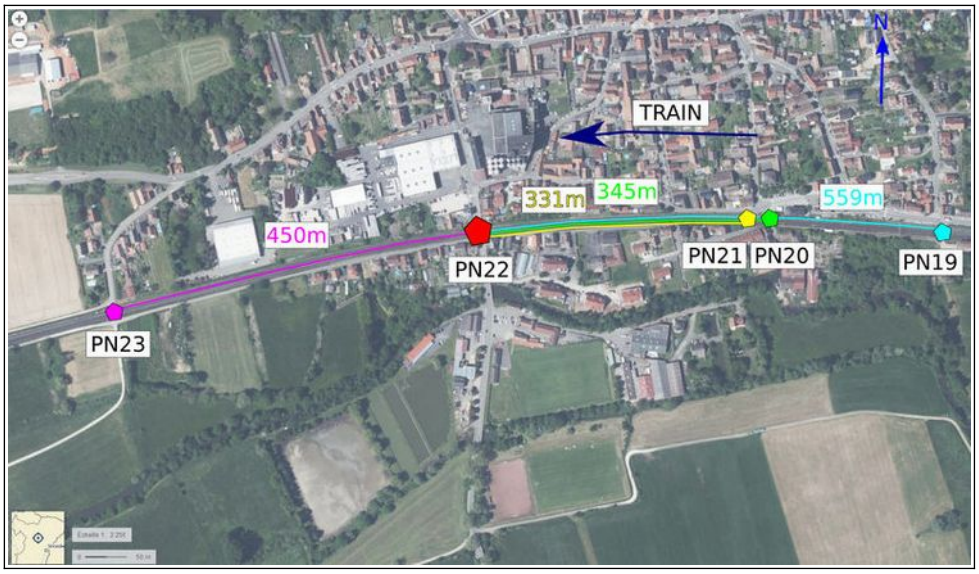


Figure 11 : Illustration des quatre PN à proximité du PN n° 22

Fond de carte Géoportail-IGN, légendé BEA-TT

Les signaux ferroviaires suivants ont été pilotés par l'agent circulation de SNCF Réseau basé au poste d'aiguillage de Hochfelden suite à la réception de l'alerte radio :

- Sur la voie 2, celle utilisée par le train, le signal C6, situé au PK 475 + 929 en amont du faisceau de Hochfelden et le signal C14, situé au PK 474 + 405 en aval de la gare de Hochfelden ont protégé le train accidenté vis-à-vis de circulations arrivant potentiellement par l'arrière en sens normal.
- Sur la voie 2, le train accidenté était protégé d'un éventuel train circulant à contresens par le signal situé au PK 471 + 200, soit à l'ouest du point d'arrêt final du train déraillé ;
- Sur la voie 1, le signal C611, situé au PK 468 + 350, soit à l'ouest du point d'arrêt final du train déraillé, a protégé ce train vis-à-vis d'un éventuel train croiseur circulant en sens normal.
- Sur la voie 1, le signal C8, situé au PK 474 + 852 a protégé le train déraillé vis-à-vis d'un éventuel train circulant à contresens.

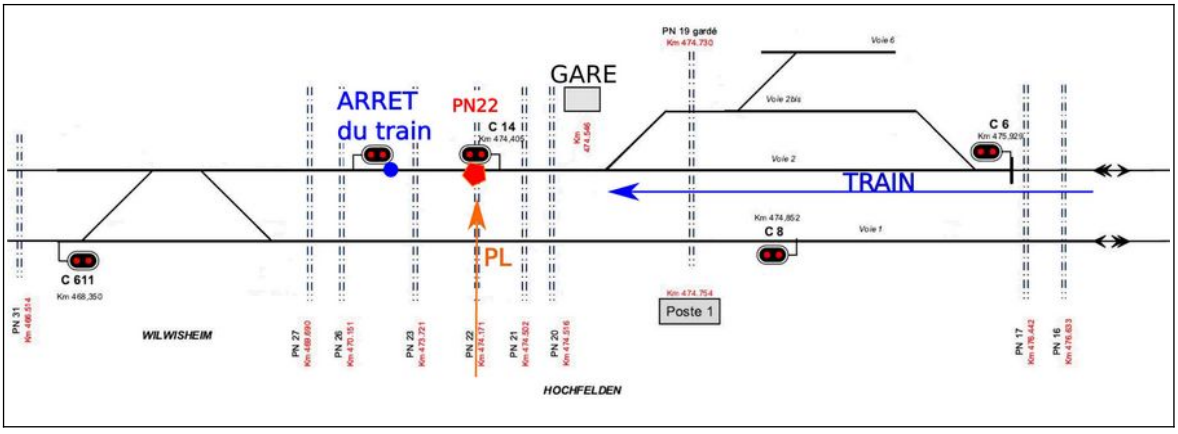
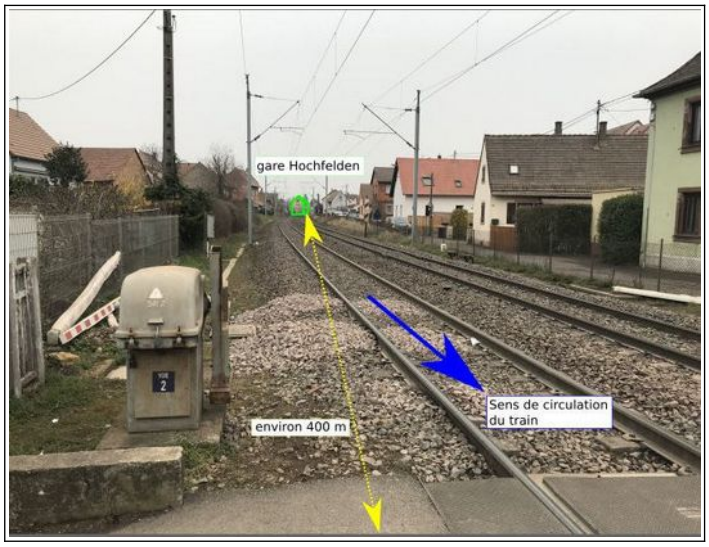


Figure 12 : Illustration simplifiée des principaux signaux ferroviaires à proximité du PN 22
Fond de carte Géoportail-IGN, légendé BEA-TT

2.4.3 - L'approche du PN 22 par le rail

Dans le sens de circulation du train impliqué, les courbes à gauche des voies ferrées et la présence des habitations à proximité du PN diminuent la distance de visibilité sur celui-ci.

Elle est évaluée à environ 400 mètres. Pour un train arrivant à 160 km/h, soit 44 m/s, cette distance est franchie en moins d'une dizaine de secondes.



Visibilité réciproque entre le PN 22 et le bâtiment voyageurs de la gare de Hochfelden (en vert), situé à près de 400 mètres.

Figure 13 : Approche du PN n° 22 par le rail
Photo et légende BEA-TT

2.5 - Les caractéristiques générales du passage à niveau

Ce PN ne figure pas sur la liste[6] des 147 PN inscrits au programme de sécurisation national (PSN), établie par l'instance de coordination de la politique nationale d'amélioration de la sécurité des passages à niveau (INPN).

Le moment de circulation du PN[7] est de 860 430, résultant des comptages de 145 trains par jour et de 5 934 véhicules routiers par jour, dont 6 % de poids lourd.

2.5.1 - Le diagnostic de sécurité du PN

En application du programme d'actions pour le traitement de la sécurité des passages à niveau décidé par le Gouvernement en 2008 et des dispositions inscrites dans l'article 125 de la Loi d'orientation des mobilités et ses textes d'application[8], le PN 22 a fait l'objet d'un diagnostic de sécurité en date du 20 octobre 2021. Ce diagnostic, réalisé, uniquement de jour, par un agent de la mairie de Hochfelden et un agent de SNCF Réseau :

- ne signalait pas de problème de croisement entre véhicules routiers sur le PN ;
- mentionnait que la visibilité et la lisibilité du PN étaient assurées ;
- indiquait que pour les modes actifs (marche, vélo, etc.), le renouvellement du marquage au sol était à réaliser ;
- faisait état de la présence d'activités à proximité du PN, sans plus de précision ni sur la nature des activités, ni sur leurs potentielles conséquences vis-à-vis des circulations routières traversant le PN.

6 Cette liste peut être téléchargée sur le site internet du ministère des transports.
7 Le moment de circulation est le produit arithmétique du nombre moyen journalier, calculé sur l'année, des circulations ferroviaires par le nombre moyen journalier des circulations routières également calculé sur l'année (cf. article 8 de l'arrêté du 18 mars 1991 modifié relatif au classement, à la réglementation et à l'équipement des passages à niveau).
8 Voir l'article L. 1614-1 du Code des transports, le décret 2021-396 du 6 avril 2021 relatif aux diagnostics de sécurité routière des passages à niveau, disponibles sur le site internet Légifrance.

2.5.2 - L'arrêté de classification du PN 22

Par arrêté préfectoral du 19 janvier 1998, le PN 22 est classé[9] comme PN de 1re catégorie équipé de quatre demi-barrières à fonctionnement automatique, de sonneries et d'un téléphone d'alerte.

2.5.3 - Le fonctionnement théorique des installations du PN

Dans le sens de circulation et sur la voie empruntée par le train impliqué dans l'accident, le déclenchement de la fermeture du PN se fait par le franchissement des détecteurs « pédales d'annonce » situés à environ 2 000 mètres en amont de celui-ci.

Le délai d'annonce[10] est de 45 secondes pour un train roulant à la vitesse maximale autorisée de 160 km/h. Cette valeur est réglementaire[11].

La détection d'un train va entraîner la séquence de fermeture du PN :

1re étape : les feux routiers clignotent et les sonneries tintent en même temps. Pendant 7 secondes, les quatre demi-barrières sont relevées et immobiles.

2e étape : alors que les feux clignotent et que les sonneries tintent, les deux demi-barrières d'entrée s'abaissent pendant 8 à 10 secondes, les deux demi-barrières de sortie restent immobiles et relevées.

3e étape : lorsque les lisses des demi-barrières d'entrée approchent de l'horizontale, le tintement des sonneries s'arrête, les feux continuent à clignoter et les deux demi-barrières de sortie débutent alors leur descente pendant 6 à 8 secondes.

4e étape : les quatre demi-barrières sont basses, les feux clignotent et les sonneries sont éteintes. Dans le cas particulier où le train ayant lancé l'annonce s'est préalablement arrêté pour desservir la gare de Hochfelden, la fermeture du PN 22 peut dès lors durer plusieurs minutes.

5e étape : lorsque l'arrière du train franchit la limite aval du platelage du PN, et en l'absence de train croiseur, les feux s'éteignent et les quatre demi-barrières se relèvent en même temps pendant environ 8 secondes.

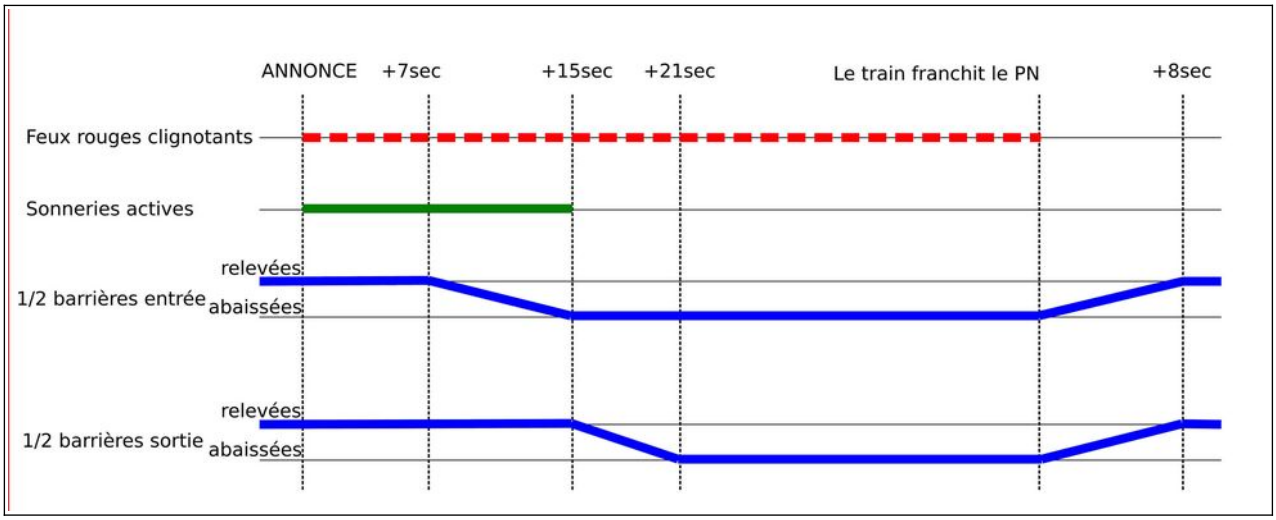


Figure 14 : Séquence théorique de fonctionnement du PN 22 à SAL 4
schéma BEA-TT

9 Classement au sens de l'arrêté du 18 mars 1991 modifié évoqué supra

10 Le délai d'annonce est le temps entre le début de la séquence de fermeture, comprenant l'allumage des feux rouges clignotants et l'activation de la sonnerie, et l'arrivée effective de la tête de train sur le PN.

11 Ce délai est fixé réglementairement par l'article 10 de l'arrêté du 18 mars 1991 modifié.

Le fonctionnement des PN à SAL 4 comporte les particularités suivantes :

- au moment de la fermeture, si une demi-barrière d'entrée n'atteint pas sa position basse du fait de la présence d'un véhicule par exemple, la demi-barrière de sortie associée, située de l'autre côté des voies ferrées, ne s'abaissera pas[12].
- une fois le PN fermé, si une force extérieure agit sur une des barrières d'entrée l'amenant ainsi à quitter la position horizontale, la demi-barrière de sortie associée se redressera.
- à l'inverse, tout obstacle à la fermeture ou action sur une des barrières de sortie n'aura aucune incidence sur la position de la demi-barrière d'entrée associée, qui restera abaissée.

12 Ce fonctionnement va permettre d'argumenter sur la position finale du PL avant la collision (voir § 3)

3 - Le compte rendu des investigations effectuées

3.1 - L'état des lieux après l'accident

Un premier examen des lieux après l'accident fait apparaître les éléments suivants :

- sur le PN 22

Le PL accidenté porteur d'une benne métallique était positionné au nord de la voie 2, à angle droit par rapport à la route départementale avec l'avant en direction de l'est. La benne métallique était toujours accrochée au porteur, mais décalée à gauche par rapport à sa position nominale. La roue arrière droite du 3e essieu était détruite.

Photo dossier judiciaire

- aux alentours immédiats à l'ouest du PN 22

La remorque, qui a perdu son essieu avant et le caisson qu'elle portait, a été projetée quelques mètres au sud-ouest du PN. Elle a heurté un poteau supportant la caténaire.

Photo dossier judiciaire

Le caisson qu'elle transportait a heurté une maison, fragilisant sa structure. Ce caisson est en partie encastré contre la remorque.

Photo dossier judiciaire

- En cheminant depuis le PN 22 en direction de l'ouest

L'attelage qui a perdu son timon, et le premier essieu de la remorque (dénommé ER) sont retrouvés 25 m en aval du PN, au nord des voies ferrées.

Le timon est retrouvé quelques mètres plus loin, dans le jardin d'un riverain.

Photo dossier judiciaire

Vers 100 m, des dégâts sur les infrastructures ferroviaires sont repérés au niveau des attaches des rails, des traverses et d'un rail.

Photo dossier judiciaire

Vers 174 m, une partie de l'attelage automatique du train est retrouvée au nord des voies ferrées.

Photo dossier judiciaire

- Sur le PN 23, situé à 450 m en aval du PN 22

Une barre métallique noire (qui est la barre anti-encastrement du PL) est posée à proximité du PN 23.

Le platelage et une lisse sont détériorés.

Photo dossier judiciaire

- 500 m encore plus à l'ouest, au point d'arrêt final du train

Le train est arrêté à 950 m du PN 22.

Il a déraillé de son premier bogie, mais ne s'est pas couché, ni désuni, et est resté sur la voie ferrée. Ceci s'explique notamment par les caractéristiques de ce train, explicitées plus loin dans ce rapport (cf § 3.6).

Photo SNCF Réseau

➢ Schéma de synthèse

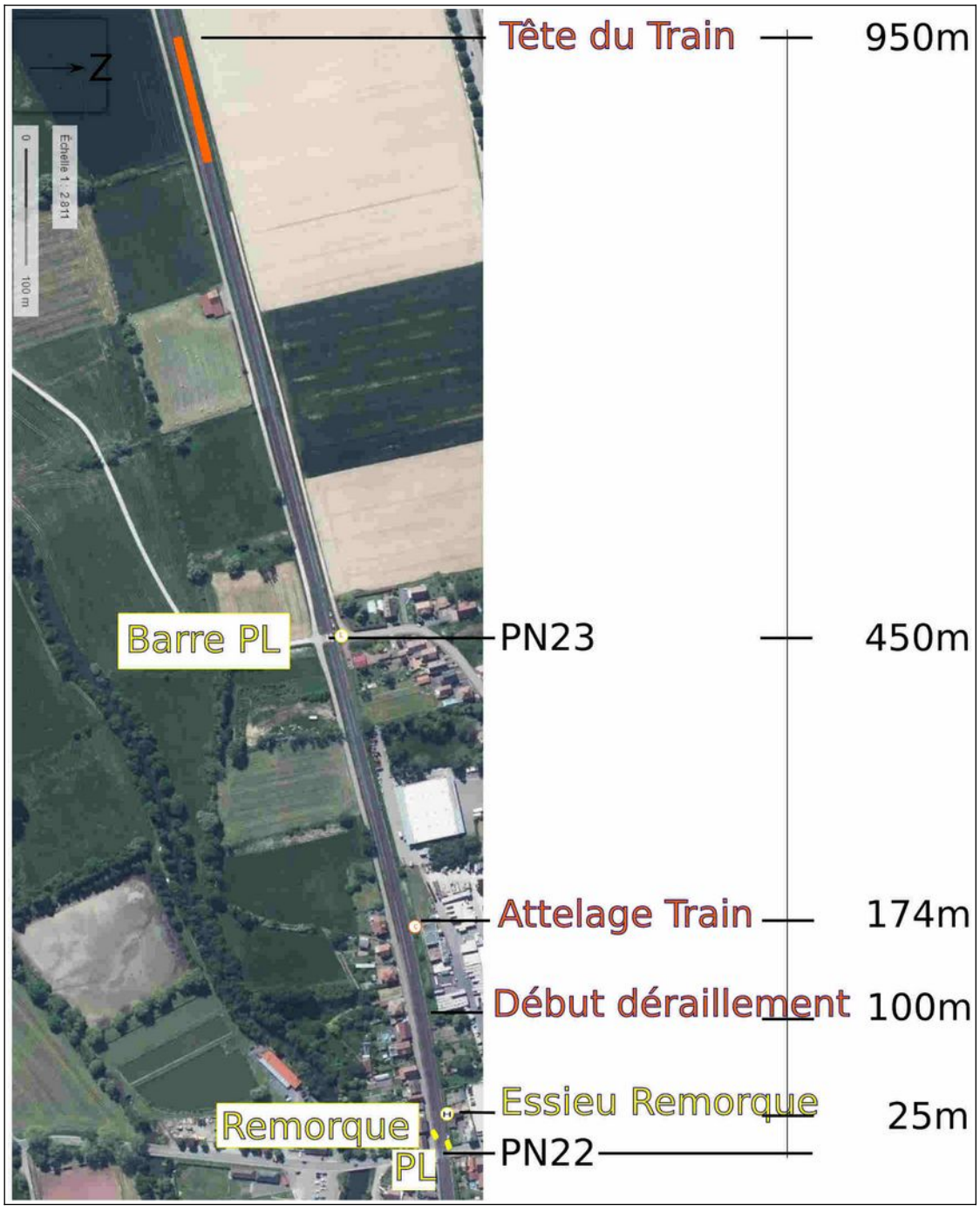


Figure 15 : Schéma de synthèse de l'état des lieux à l'échelle globale
Vue aérienne Géoportail-IGN, légende BEA-TT

3.2 - Les résumés des témoignages

Les résumés 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 la compréhension et l'analyse des évènements. Des divergences peuvent exister entre les différentes déclarations ou entre ces déclarations et des constats ou des analyses présentés par ailleurs dans ce rapport.

3.2.1 - Le conducteur de l'ensemble routier

Embauché par l'entreprise de transport une dizaine de jours avant l'accident, il était titulaire d'un permis de conduire valide et adapté à ce type de véhicule.

Il avait suivi la formation initiale FIMO pour le transport de marchandises plus de 15 ans avant l'accident, et sa dernière formation continue FCO en 2019.

Après son embauche, il a effectué un compagnonnage avec un de ses collègues pour connaître les itinéraires à suivre et les matériels à utiliser. Pendant deux jours et demi, il était passager et observait son collègue travailler. Puis le jeudi après-midi, le vendredi et le samedi il était conducteur du camion MAN avec son collègue comme accompagnateur.

Le lundi 21 février, il a conduit un camion IVECO. Le mardi 22 et le mercredi 23, il a conduit le camion MAN toujours en étant accompagné.

Pendant cette prise de connaissance du matériel, il a détecté des fuites dans le circuit pneumatique de freinage, au niveau du flexible de liaison de couleur rouge entre le PL et la remorque. Il a resserré au moins à une reprise ce flexible et a averti son collègue de la situation.

Le jour de l'accident, il effectuait pour la première fois en solo la tournée avec ce camion. Il s'est levé un peu avant 5 h du matin.

Il a pris possession de son camion et a programmé dans une application de navigation de son téléphone l'adresse du premier client. Il a démarré le trajet vers 6 h et est arrivé à 7 h chez celui-ci.

Son deuxième client était situé à Hochfelden. Pour s'y rendre, il a programmé la destination à nouveau dans son téléphone. Il a emprunté l'autoroute et a franchi une première fois le PN 22 dans le sens nord = > sud. Lors de cette première traversée, il s'est fait la réflexion que le passage était étroit pour le croisement de deux PL.

Après avoir effectué la livraison chez le deuxième client, il est reparti en effectuant le trajet inverse.

Peu avant le PN 22, il a aperçu un PL avec une semi-remorque arrivant en face et en amont de l'ouvrage. Il a actionné le ralentisseur de son camion pour laisser passer l'autre PL. Il n'était pas complètement arrêté, mais au ralenti. À ce moment, il n'avait pas commencé le franchissement des voies ferrées. Les barrières étaient relevées et les feux rouges éteints.

Après le croisement des deux véhicules et au moment d'accélérer, il a senti qu'il y avait un problème, il accélérait mais son camion n'avançait pas. La situation ressemblait à l'absence de vitesse enclenchée, alors qu'il était en position D (*NDLR : automatique Drive*).

Sur son erre, le camion porteur a franchi les voies ferrées, mais la remorque était toujours sur le PN.

Il a encore essayé d'avancer mais sans succès. Il a même freiné pour ré-accélérer, mais sans succès. Le camion n'arrivait plus à avancer, le moteur s'emballait dans le vide.

Une fois stoppé, le conducteur a actionné des commandes pour repasser en boîte manuelle. Il déclare « quand j'ai remarqué que je n'avais plus de vitesse enclenchée, j'ai appuyé sur le bouton que je pensais qui correspondait au passage en boîte manuelle. C'est une manipulation que je maîtrisais sur mes anciens camions, mais pas sur celui-ci.

Quand j'ai appuyé sur ce bouton, j'ai remarqué que le voyant « A » comme position automatique de la boîte était allumé ».

Alerté par un automobiliste, il a aperçu, en regardant ses rétroviseurs, que les feux rouges du PN clignotaient, il a alors quitté sa cabine de conduite et s'est mis à l'abri quelques mètres au nord du PN.

C'est depuis cet endroit qu'il a assisté au choc entre le train et son camion.

Après le choc, il est remonté dans la cabine de conduite pour récupérer des affaires personnelles, en oubliant sa carte de conducteur dans le chronotachygraphe. Il a alors positionné le sélecteur de la boîte de vitesse sur N (neutre), il a coupé le moteur mais n'a pas touché au frein d'immobilisation. Il a ensuite appelé sa hiérarchie.

Il a été ensuite pris en charge par les forces de l'ordre et par les secours.

3.2.2 - Un usager de la route, témoin de la scène

Il circulait à bord de son véhicule à 150 mètres derrière l'ensemble routier qui était immobilisé sur le platelage.

Il a arrêté son VL derrière la remorque du PL.

Environ 15 secondes après, les feux se sont mis à clignoter puis les barrières se sont abaissées. Trois sur quatre ont pu se fermer, la quatrième (*NDLR : la barrière de sortie côté nord*) s'est posée sur la benne portée par le camion.

Il a reculé son VL de 150 mètres environ. Le conducteur du PL était descendu de son véhicule et se tenait la tête entre les mains.

Au moment du choc, le conducteur du PL était en sécurité vers la brasserie, celui-ci ayant quitté le PN dès la fermeture.

Après le choc, le moteur du PL était toujours en fonctionnement. Il a été arrêté après le choc.

3.2.3 - La personne qui a formé le conducteur de l'ensemble routier

Le formateur est employé par la société de transport depuis plusieurs années. Il a roulé avec l'ensemble routier accidenté pendant plusieurs mois comme véhicule attitré.

Il a été le formateur du conducteur accidenté pendant six jours, suite à la demande de sa hiérarchie. N'étant pas conducteur référent, il ne dispose pas de document de suivi de formation.

Dans l'entreprise, il existe des conducteurs référents qui ont des formations spécifiques pour pouvoir ensuite former et suivre d'autres conducteurs.

Il explique sa désignation comme formateur, bien que n'étant pas conducteur référent, car il est le plus expérimenté pour l'ampliroll[13] avec remorque.

Il déclare avoir déjà formé une dizaine de conducteurs lors de leurs débuts dans la société de transport.

Il indique que le conducteur accidenté était à l'aise dans sa conduite et que c'était sur son appréciation que la formation du conducteur a été déclarée complète.

Sur la maîtrise du mode manuel de la boîte, il précise « je ne pense pas qu'il connaissait, parce que ce sont des fonctionnalités que je n'utilise jamais. Je conduis toujours en tout automatique et je n'utilise jamais la conduite en mode manuel. Donc du coup je n'ai pas parlé de ces options de conduite au conducteur lors de sa formation ».

Pendant sa formation, il confirme que le conducteur accidenté n'a pas eu à basculer la boîte automatique en mode manuel.

13 Selon le site internet du fabricant Marell, un ampliroll est un système de bras de levage hydraulique doté d'un crochet, source https://www.marrel.com/produit/ampliroll/

3.2.4 - L'employeur du conducteur de l'ensemble routier

Le conducteur venait d'être embauché en CDI, avec une période d'essai de deux mois, depuis une dizaine de jours.

Il a bénéficié de six jours d'accompagnement avec un conducteur expérimenté pour découvrir les matériels et les itinéraires. Ces jours se sont très bien déroulés.

Le lundi 21, il était avec un camion IVECO, et à partir du mardi 22 avec le camion MAN qui allait être impliqué dans l'accident.

Le conducteur n'a jamais fait part de problème qu'il rencontrait lors de sa conduite des véhicules de la société.

Juste après l'accident, l'employeur a mis en place dans l'entreprise une cellule de crise.

Lors du débriefing, le conducteur a précisé avoir franchi le PN, mais que la vitesse du moteur ne s'était pas enclenchée.

3.2.5 - L'agent de conduite du train

Conducteur de train depuis plus de 20 ans, il possédait toutes les autorisations nécessaires pour conduire ce type de matériel roulant sur cette infrastructure ferroviaire.

Il connaissait bien ce matériel ferroviaire et la ligne qu'il parcourait depuis plus de 15 ans.

Le jour de l'accident, il s'est levé à 4 h 50 et a pris son service à 5 h 30. Il a conduit un premier train de Strasbourg à Nancy sans difficultés. Puis il a effectué un trajet de Nancy vers Strasbourg pour arriver à 9 h 41.

La préparation du train s'est bien déroulée, la rame était quasi neuve. Le train est parti de Strasbourg à 10 h 17.

À son poste de conduite, il a posé sur son pupitre une tablette qui contenait des informations relatives aux horaires, aux gares desservies et aux vitesses pratiquées. Son téléphone portable professionnel était dans sa poche.

Aucun évènement extérieur n'a perturbé son voyage avant la collision.

En arrivant au niveau du bâtiment voyageur de la gare de Hochfelden, son train roulait à 155 km/h.

Il a constaté que les PN 20 et PN 21 étaient fermés.

En regardant plus loin, il a détecté une remorque immobile sur le PN 22 environ 400 m devant lui. Il n'a pas vu l'état de fermeture du PN 22.

Après un court moment de sidération, il a actionné le manipulateur traction-freinage en position freinage d'urgence en le ramenant complètement vers lui.

Il s'est ensuite accroupi côté gauche de la cabine de conduite, à côté de l'interface homme machine de la radio et s'est préparé au choc.

Il ne se souvient pas avoir utilisé le sifflet du train, dont la commande se situe à droite du pupitre, proche du manipulateur traction-freinage.

Il ne se souvient pas non plus avoir appuyé sur le bouton poussoir BP-URG pour lancer le freinage d'urgence.

Le choc a été violent, le camion a été projeté sur la droite du train, la remorque a été projetée à gauche, mais la rame est restée droite et la cabine de conduite du train intègre.

Une seconde après le premier choc, un second choc encore plus bruyant a été perçu. La cabine de conduite a été soulevée, puis les secousses ont perduré. Le conducteur a supposé que son train venait de dérailler.

Toujours accroupi, il a actionné le signal d'alerte radio.

Une fois que le train s'est immobilisé, le conducteur a contacté le régulateur de SNCF Réseau par la radio, puis l'agent circulation de SNCF Réseau basé à Hochfelden pour

rendre compte de la situation. Il a reçu l’assurance que son train était protégé des autres circulations ferroviaires.

Des cheminots en voyage présents dans le train se sont manifestés et ont tenté d’entrer dans la cabine de conduite, mais la porte de service était bloquée par des extincteurs tombés de leur emplacement. La cabine de conduite était également remplie de morceaux de verre.

Une fois la porte ouverte et après avoir pris des nouvelles de son état de santé, ils l’ont aidé à faire le tour de sa rame, à identifier les dégâts, à évaluer les blessures des passagers ainsi qu’à commencer l’évacuation du train.

Après la réalisation des tests sur l’alcoolémie et les stupéfiants, le conducteur a effectué sa déposition chez les gendarmes à Hochfelden, puis il est rentré chez lui en taxi.

3.3 - L’ensemble routier et son conducteur

3.3.1 - Le poids lourd porteur

De marque MAN, de modèle TGS, il a été immatriculé pour la première fois en mai 2021. Ce véhicule récent n’avait pas encore passé son premier contrôle technique.

Aucun dysfonctionnement au niveau du moteur ou de la boîte de vitesses sur le véhicule n’a été mentionné par le conducteur dans les jours précédant celui de l’accident.

Il était doté d’un ralentisseur agissant sur le moteur, après action sur un commodo situé à côté du volant.

Ce véhicule comportait trois essieux : un essieu directeur avant et un tandem arrière avec un essieu moteur à roues jumelées et un essieu directeur-suiveur avec des roues simples. Ce dernier essieu pouvait être relevé.

Avec sa motorisation diesel et sa boîte de vitesses automatique, il possédait une puissance de 470 chevaux, une masse à vide de 11,1 tonnes, une masse maximale de 26 tonnes et une masse totale roulante de 44 tonnes.

Équipé pour transporter et charger des bennes métalliques, il mesurait 8 m de long et 2,55 m de large. La benne était arrimée au porteur grâce à un crochet à l’avant et des crochets sur le châssis.

Figure 16 : Photo du tracteur routier impliqué
Photo dossier judiciaire

Le véhicule comportait un chronotachygraphe dont les données ont pu être exploitées (voir § 3.3.7).

3.3.2 - La remorque

De marque LeciTrailer, de modèle R2EI, immatriculée en juin 2017, cette remorque porte-caisson avait passé son contrôle technique en septembre 2021. Le procès verbal du contrôle technique indique deux défaillances mineures[14]. La remorque possédait un contrôle technique valide au moment de l’accident.

Sa masse à vide était de 4,6 tonnes, sa masse maximale autorisée en charge de 19 tonnes.

Elle dispose d’un système de freinage avec ABS, ainsi que d’un frein de parc agissant uniquement sur le second essieu.

Le caisson était solidaire de la remorque grâce à quatre attaches amovibles sur le plateau.

14 Absence ou non-conformité du justificatif d’inspection périodique des réservoirs d’air & Dispositif défectueux ou endommagé à l’arrière droit et gauche des catadioptres, du marquage de visibilité réfléchissant et des plaques réfléchissantes arrière.

Sa longueur était de 7 mètres au niveau du plateau, auquel s'ajoutait un attelage en col de cygne d'une longueur modulable de 2 mètres (- 0,1 m jusqu'à + 0,4 m), ainsi que des suspensions pneumatiques.

Elle comportait deux essieux avec des roues jumelées.

Figure 17 : Illustration d'une remorque du même type que celle accidentée
Source site internet LeciTrailer

3.3.3 - L'ensemble routier constitué

L'ensemble routier impliqué n'entrait pas, ni par la masse, ni par la longueur, dans la catégorie des convois exceptionnels au sens du Code de la route. Sa longueur totale était d'environ 16,90 mètres, sa largeur était de 2,55 mètres.

Figure 18 : Photo d'un ensemble routier équivalent à celui accidenté
Source BEA-TT

3.3.4 - Le trajet d'approche de l'ensemble routier

Le jour de l'accident, l'ensemble routier avait déjà effectué plusieurs trajets et livraisons avant de s'immobiliser sur le PN 22.

Dans la dernière phase de son trajet, il venait d'une déchetterie[15] située au sud de Hochfelden dans la zone d'activités du Canal.

Le trajet identifié comportait le franchissement du PN 22 du sud au nord. Aucun élément dans la réglementation de circulation de la commune ou de la RD 25 n'empêchait cet ensemble routier de circuler sur cet itinéraire.

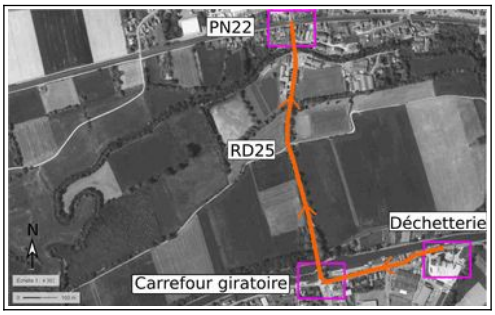


Figure 19 : illustration en orange du trajet d'approche de l'ensemble routier
Fond de carte Géoportail-IGN, légendé BEA-TT

15 Cette information a été confirmée par le conducteur du PL, son employeur ainsi que les images de vidéo-protection de la déchetterie.

3.3.5 - L'analyse des traces de ripage sur le platelage du PN

Deux traces principales engendrées par le ripage de pneumatiques sur le platelage du PN ont été identifiées par les forces de l'ordre lors des constatations immédiates.

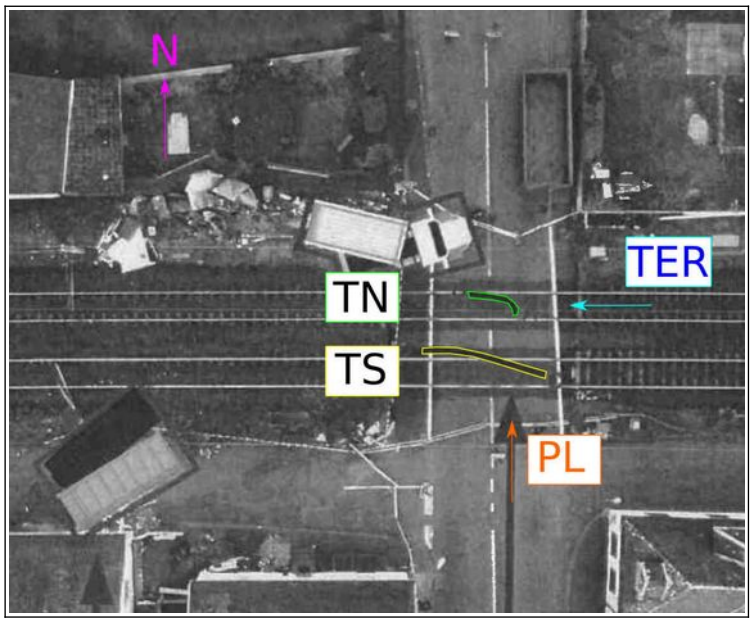


Figure 20 : Zoom sur les traces de ripage
Source dossier d'enquête judiciaire, légendé par le BEA-TT

La trace la plus au sud, identifiée TS, débute au niveau de la voie 1, quasiment sur le rail extérieur. Elle prend ensuite la direction de l'ouest dans une trajectoire qui l'amène à proximité du rail intérieur de la voie 1 en traversant la quasi-totalité du platelage.

La seconde trace située plus au nord, identifiée TN, débute entre les rails de la voie 2, voie de circulation du train, quasiment au niveau du rail intérieur. Elle prend ensuite la direction de l'ouest dans une trajectoire plus courte que TS, qui l'amène à proximité du rail extérieur de la voie 2.

Du point de vue longitudinal, la distance entre les deux points où débutent TS et TN est de l'ordre de 4 mètres.

Aucune autre trace de ripage n'est mentionnée dans les rapports de constatations immédiates établis par les forces de l'ordre.

3.3.6 - Les dégâts occasionnés à l'ensemble routier

L'ensemble routier a été disloqué par la collision : le porteur et sa benne, ainsi que l'attelage et l'essieu avant de la remorque ont été retrouvéS à droite des voies ferrées, par rapport au sens de circulation du train. La remorque et son caisson ont été retrouvés à gauche.

- Le porteur routier et sa benne

La partie avant du PL est globalement intacte. Dans cet espace se situent la cabine de conduite, le moteur, la boîte de vitesse, les réservoirs du système de freinage et le réservoir à carburant.

Le troisième essieu du PL est le plus fortement endommagé. Les deux autres essieux, leurs roues et les pneumatiques sont intacts.

La barre anti-encastrement située initialement à l'arrière du PL est absente, elle a été retrouvée au PN suivant, à 450 m de distance du lieu de l'accident.

La benne qu'il transportait est toujours liée au crochet du PL, mais elle a subi une déformation dans sa partie arrière et a globalement basculé vers la gauche. Si la porte arrière droite est manquante, en revanche la paroi latérale droite n'est que peu déformée.

Figure 21 : Vues arrière et de côté des principaux dégâts sur le PL
Photos dossier d'enquête judiciaire

- ***L'attelage et l'essieu avant de la remorque***

L'attelage est désolidarisé de la remorque. Le timon est manquant, il est retrouvé plus loin dans le jardin d'un riverain. Des liaisons mécaniques ont rompu. Les roues de l'essieu avant sont particulièrement endommagées, ce qui dénote un choc ayant mobilisé une grande quantité d'énergie.

Figure 22 : Vues de face et de profil des principaux dégâts sur l'essieu avant de la remorque retrouvé 25 m en aval du PN 22
Photos dossier d'enquête judiciaire

- ***La remorque et son caisson***

La remorque a été retrouvée à la limite des emprises ferroviaires côté sud. Dépourvue de son essieu avant, elle a heurté un poteau supportant la caténaire ainsi que son système d'ancrage au sol.

Le caisson a été retrouvé, d'une part, encastré dans le châssis de la remorque et, d'autre part, contre une maison. Des dégâts importants sont présents sur plusieurs faces du caisson, qui s'est retourné et s'est désolidarisé de la remorque.

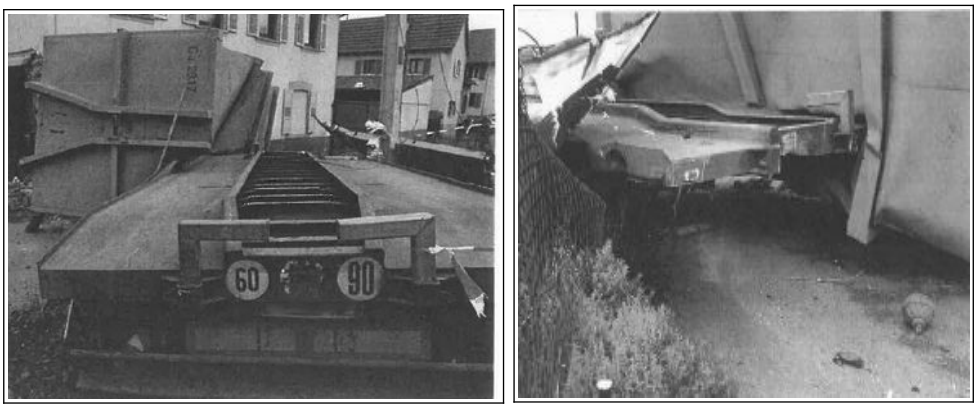


Figure 23 : Vues arrière et avant des principaux dégâts sur la remorque et son caisson
Photos dossier d'enquête judiciaire

3.3.7 - L'analyse du chronotachygraphe du poids lourd

Le PL comportait un chronotachygraphe numérique dont les données ont pu être extraites et exploitées par la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) sur réquisition des autorités judiciaires.

Les données associées au conducteur du PL ne montrent pas d'infraction vis-à-vis de la réglementation sur les durées de conduite et de repos quotidiens ou hebdomadaires.

Le jour de l'accident, la carte du conducteur a été insérée dans le chronotachygraphe peu avant 6 h du matin. Elle a été retirée à 11 h 22 minutes. Le camion avait parcouru 95 km depuis son démarrage du matin jusqu'à l'accident.

Dans son dernier trajet avant l'accident, les éléments suivants peuvent être reconstitués.

Heure (selon le référentiel temporel du chronotachygraphe)	Lieu	Distance par rapport au point de choc	commentaires
10 h 30 min 00 s	Déchetterie SUEZ	- 1 160 m	Départ – mise en mouvement
10 h 30 min 56 s	Carrefour giratoire entre la ZA du Canal et la RD 25	- 820 m	
10 h 32 min 15 s		- 9 m	Premier arrêt
10 h32 min 21 s à 10 h 32 min 22 s		- 9 m	Très léger déplacement
10 h 32 min 23 s		- 9 m	Deuxième arrêt
10 h 33 min 06 s		- 9 m	Remise en mouvement
10 h 33 min 16 s	Dernier arrêt	0 m	Arrêt final
10 h 33 min 59 s		0 m	Fin de l'enregistrement

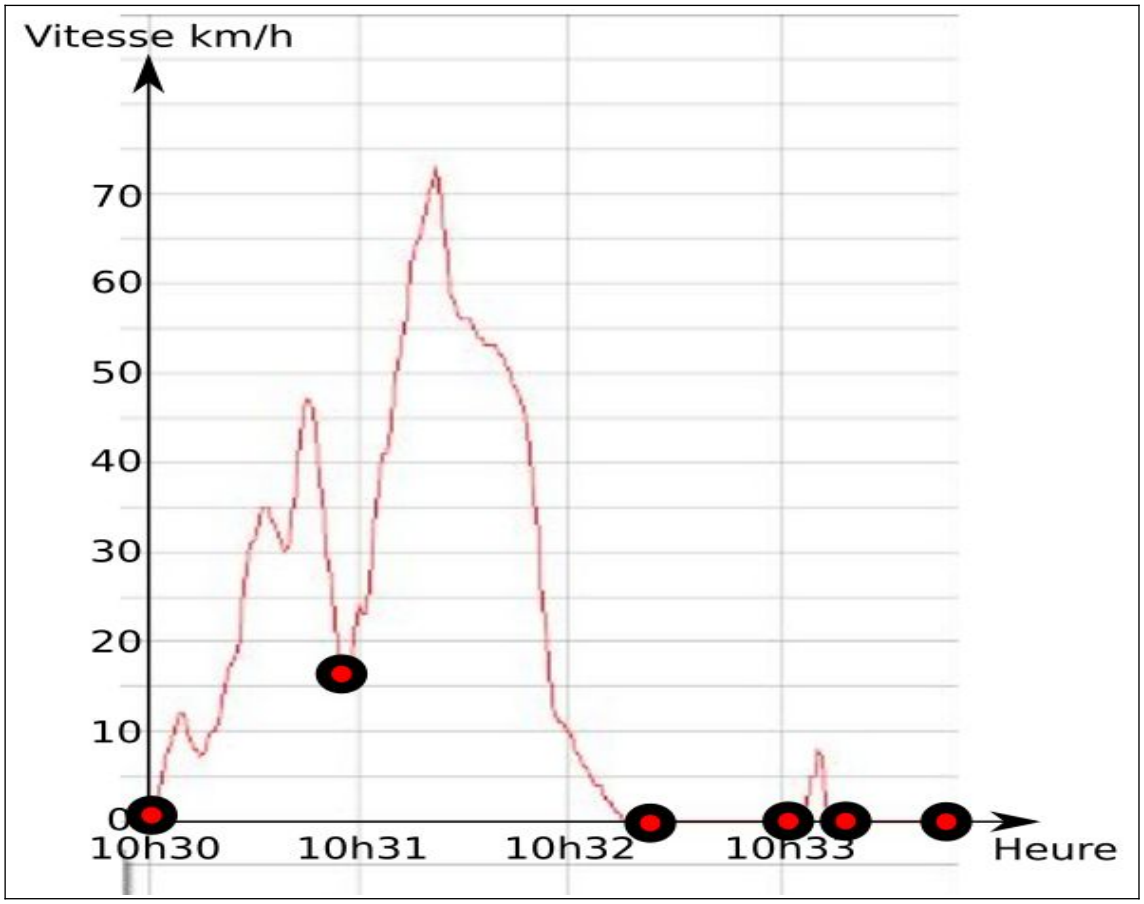


Figure 24 : Courbes de vitesse du PL d'après les données du chronotachygraphe
Réalisation BEA-TT d'après les données du chronotachygraphe
Nota : les points noirs et rouges correspondent aux lignes du tableau précédent.

3.3.8 - La reconstruction des mouvements du PL jusqu'à son immobilisation

- L'identification du premier arrêt

Le conducteur du PL indique avoir ralenti, sans toutefois s'arrêter, en amont du PN 22 pour laisser passer un autre poids lourd arrivant en face ; puis il déclare s'être engagé sur le PN alors que les feux rouges étaient éteints et les barrières relevées.

Les données du chronotachygraphe indiquent, contrairement au témoignage du conducteur du PL, une vitesse nulle pendant une quarantaine de secondes à la fin de la décélération.

Le BEA-TT précise que le chronotachygraphe n'est pas un outil conçu pour mesurer des faibles distances. Il mesure des vitesses (en km/h) et des durées (en secondes) en mesurant la rotation de l'arbre de transmission entre la sortie de la boîte de vitesses et l'essieu moteur. Sa précision pour la vitesse relevée est au mieux d'1 km/h. Si la distance[16] de 9 mètres peut être discutée compte tenu des précisions de l'outil, le BEA-TT considère comme établi que le PL a atteint une vitesse nulle après 10 h 32 min 24 sec.

16 Nota : une distance fournie par l'outil dépend de l'étalonnage de celui-ci, mais aussi de paramètres exogènes tels l'usure des pneumatiques, la masse du PL en charge ou encore les conditions d'adhérence. Elle dépend enfin des arrondis mathématiques appliqués aux données mesurées.

- ***Le court déplacement sur le platelage***

Le chronotachygraphe indique ensuite un déplacement d'une longueur de près de 9 mètres, commencé à 10 h 33 min 06 sec et d'une durée d'une dizaine de secondes, effectué à une vitesse maximale de 8 km/h. Ce déplacement, notamment à cause du profil en long de la route (dans le sens de déplacement du PL, la route est en montée), ne semble pas possible suite à la seule action de la force gravitationnelle.

Le BEA-TT considère que ce déplacement ne peut résulter que d'une action du moteur du PL.

La faible vitesse maximale de 8 km/h est atteinte en 5 secondes, ce qui dénote une accélération très faible (accélération moyenne de 0,4 m/s², accélération maximale mesurée à 0,8 m/s²). Ensuite, le véhicule décélère doucement pour atteindre l'arrêt en 5 secondes (décélération moyenne de - 0,4 m/s², décélération maximale de - 1,4 m/s²).

- ***L'immobilisation finale***

Le chronotachygraphe n'a enregistré plus aucune vitesse non nulle après 10 h 33 min 16 sec, jusqu'au retrait de la carte conducteur survenue bien après le choc.

Le BEA-TT considère comme établi que l'impact a eu lieu après 10 h 33 min 16 sec, sans que les données du chronotachygraphe ne puissent fournir plus de précision.

Selon un témoin placé derrière l'ensemble routier, c'est après cette immobilisation que les feux rouges du PN ont commencé à clignoter et que les barrières ont commencé à se baisser. Ce témoignage est cohérent avec celui du conducteur du PL, qui a déclaré avoir commencé à franchir le PN alors que les feux étaient éteints et que les barrières étaient en position haute.

3.3.9 - L'identification de la position finale du PL avant le choc

Plusieurs éléments relevés sur le terrain ou dans les témoignages permettent au BEA-TT de proposer des hypothèses sur la position finale de l'ensemble routier avant le choc.

- ***Les barrières d'entrée du PN ont pu se fermer***

Un témoin, positionné dans un véhicule derrière l'ensemble routier, a indiqué qu'il a vu les deux barrières de son côté se baisser sans toucher le caisson porté par la remorque. Il a également précisé qu'une barrière de l'autre côté n'a pas pu se baisser complètement et s'est posée sur la benne portée par le PL.

Le fait que la barrière de sortie ait entamé sa descente confirme l'hypothèse que la barrière d'entrée associée, située derrière la remorque, a pu atteindre sa position basse (cf le § 2.5 relatif au fonctionnement théorique du PN 22).

L'absence de dégâts sur cette barrière d'entrée côté sud étaye l'hypothèse qu'elle n'était pas en contact avec le caisson de la remorque ni lors de sa fermeture, ni au moment du choc entre l'ensemble routier et le train.

- ***Les dégâts sur l'ensemble routier***

Un choc violent entre la motrice du train et un PL positionné à cheval sur les rails aurait dû laisser des traces sur le châssis du PL, sur le deuxième essieu de celui-ci et sur la paroi droite de la benne dans sa partie située au-dessus de ces essieux. Or aucun dégât significatif n'est visible à ces endroits.

Les dégâts sont situés sur les roues du troisième essieu du porteur, ainsi que sur la partie arrière de la benne qu'il transportait. La relative intégrité de la paroi droite de la benne

au-dessus des 2e et 3e essieux du PL dénote selon le BEA-TT une absence de choc direct entre l'avant du train et cette partie de la benne.

Figure 25 : Examen des dégâts sur l'ensemble routier accidenté
Source enquête judiciaire
Nota : le caisson sur la remorque n'a pas été replacé dans la même position que celle qu'il avait avant l'accident, il est tourné sur le côté.

Sur l'ensemble routier accidenté, l'avant de la remorque est endommagé, le premier essieu de la remorque est fortement dégradé et il s'est détaché du châssis. Le caisson transporté par la remorque présente des dégâts importants, y compris sur les parois latérales, et il s'est désolidarisé de la remorque.

L'examen de ces dégâts appuie l'hypothèse que le porteur avait probablement franchi la voie ferrée sur laquelle circulait le train au moment du choc initial.

- ***Les trajectoires des différents éléments de l'ensemble routier après le choc***

L'essieu avant de la remorque a été retrouvé sur le côté droit des voies ferrées dans le sens de circulation du train.

Le caisson porté par la remorque s'est désolidarisé de celle-ci, tandis que la benne portée par le PL est restée liée à son crochet.

La remorque a été projetée suite au choc sur le côté gauche des voies ferrées, avec une forte énergie.

- ***Les hypothèses du BEA-TT sur la position de l'ensemble routier avant le choc***

À partir des éléments présentés ci-dessus, le BEA-TT estime que la position la plus probable de l'ensemble routier juste avant le choc, représentée dans l'illustration suivante, est constituée :

- d'un PL porteur ayant largement franchi les voies ferrées ;
- d'une barrière de sortie posée sur l'arrière de la benne portée par le PL ;
- d'une remorque à cheval sur les deux voies ferrées, avec son premier essieu situé sur la trajectoire du train ;
- d'une barrière d'entrée située derrière la remorque qui a atteint sa position basse.

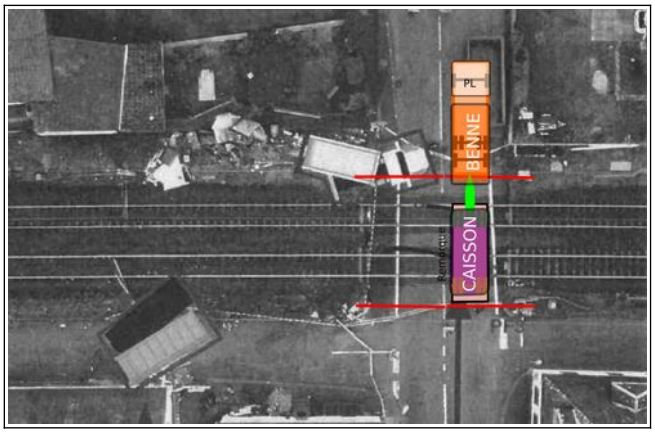


Figure 26 : Visualisation de la position de l'ensemble routier immobilisé
Vue aérienne en fond d'image issue du dossier judiciaire, complétée par le BEA-TT

3.3.10 - La recherche des causes de l'immobilisation

Dans le cadre de la procédure judiciaire, des expertises ont été réalisées sur l'ensemble routier. Des prélèvements ont été réalisés sur celui-ci. Une reconstitution a été organisée, durant laquelle le conducteur du PL a pu répondre aux questions du juge d'instruction, des enquêteurs judiciaires et des experts judiciaires.

Le BEA-TT n'a pas été associé à cette expertise judiciaire et à la reconstitution, mais a pu étudier les documents présentant les résultats.

La société de transport a indiqué aux enquêteurs du BEA-TT qu'elle n'a pas été associée à la reconstitution, qu'elle a fourni un ensemble routier équivalent à celui accidenté, qu'elle n'a pas été consultée sur les conclusions du rapport d'expertise et qu'elle n'a pas été destinataire du rapport final d'expertise judiciaire.

Le BEA-TT, dans une étape ultérieure, a mené avec l'entreprise de transport une mise en situation avec un autre conducteur et un ensemble routier équivalent sur les emprises de l'entreprise.

- *Le système de freinage*

Lors de ses témoignages aux enquêteurs judiciaires, le conducteur du PL accidenté a indiqué avoir constaté des fuites au niveau des liaisons pneumatiques entre le PL et la remorque lors de ses journées de formation.

Le BEA-TT et le transporteur ont réalisé un test en débranchant complètement ces liaisons sur un ensemble routier équivalent. Après ce débranchement, le serrage des freins de l'essieu arrière de la remorque s'est réalisé, comme attendu.

Figure 27 : Visualisation des traces laissées lors d'un redémarrage de l'ensemble routier par les pneus arrière de la remorque avec les freins serrés
Photo BEA-TT

Les essais de redémarrage avec une remorque ainsi freinée ont montré que, d'une part, le redémarrage avec un PL en mode automatique n'était pas possible, et que le redémarrage en mode manuel avec la première vitesse engagée était possible.

Dans cette seconde situation, le PL arrivait à « tirer » la remorque freinée, les pneumatiques du second essieu de la remorque ripaient en laissant de fortes traces sur le sol (voir figure à gauche).

Or, aucune trace de ce type n'a été relevée ni dans les constatations immédiates des enquêteurs judiciaires, ni par les enquêteurs du BEA-TT pendant leur visite sur les lieux quelques jours après l'accident.

Le BEA-TT considère qu'aucun indice sur le terrain ne permet d'étayer l'hypothèse d'un blocage des freins de la remorque, suite à une rupture de la liaison pneumatique avec le PL, comme cause d'immobilisation ou des difficultés de redémarrage de l'ensemble routier.

- ***La chaîne de propulsion***

  Le moteur du PL, la boîte de vitesses et la transmission étaient fonctionnels lors du roulage réalisé dans le cadre de l'expertise judiciaire après l'accident.

  La boîte de vitesses et ses commandes étaient fonctionnelles pendant ce roulage.

- ***Les éléments d'électronique[17]***

  Le PL, même après le choc, était opérationnel pendant le roulage réalisé dans le cadre de l'expertise judiciaire.

- ***Les fluides***

  Aucune anomalie n'a été détectée.

- ***Les pneumatiques***

  Aucune anomalie n'a été détectée.

- ***La reconstruction des possibles actions du conducteur***

  À l'approche du PN, le conducteur du PL, selon son témoignage, a aperçu un autre PL arrivant en face. Son ensemble routier roulait jusqu'à ce moment sans difficultés, ce qui laisse penser que le sélecteur DNR[18] était sur D, que ce soit en mode automatique ou en mode manuel.

  Selon le témoignage du conducteur du PL, confirmé par des photos prises après l'accident par les forces de l'ordre, deux véhicules étaient garés au nord du PN sur des places de stationnement autorisées, les deux PL ne pouvaient pas se croiser facilement. Le conducteur du PL accidenté a indiqué qu'après avoir franchi le PN il devait se déporter légèrement sur la voie de gauche pour effectuer ensuite un virage à droite et emprunter une autre rue devant la brasserie. Il a donc décidé de laisser passer l'autre PL arrivant par le nord. Pour cela, il a probablement actionné le commodo du ralentisseur.

  Le chronotachygraphe indique que le PL s'est arrêté pendant 6 secondes (de 10 h 32 min 15 s à 10 h 32 min 21 s).

  Après ce premier arrêt, les données du chronotachygraphe comportent pendant deux secondes une vitesse enregistrée de 1 km/h, soit un déplacement d'environ 0,5 m.

  Après le croisement avec l'autre PL, le conducteur du PL accidenté a, selon son témoignage, tenté d'accélérer pour redémarrer, mais le véhicule n'avançait que très lentement et avec difficulté. Les données du chronotachygraphe confirment ce redémarrage à 10 h 33 min 06 s.

  Suite à la perception de ces difficultés de redémarrage et n'en comprenant pas la raison, le conducteur du PL a immobilisé son véhicule au milieu du PN à 10 h 33 min 16 s.

---

17 Le BEA-TT a identifié dans le dossier judiciaire des réquisitions pour faire procéder à l'extraction des données des calculateurs du porteur et de la remorque. Au moment de la rédaction du présent rapport, il n'a pas identifié dans les rapports d'expertise judiciaire transmis d'analyse sur ces données ou d'éléments de compréhension de l'enchaînement des évènements reprenant d'éventuels indices issus de ces données.

18 Le sélecteur DNR permet :
- en position D : la marche avant (Drive)
- en position N : le point mort (Neutral)
- en position R : la marche arrière (Reverse)

Il déclare avoir ensuite tenté de ré-accélérer probablement après avoir touché les commandes mais sans succès. Le chronotachygraphe n'a pas enregistré de nouvelles valeurs de vitesse non nulle.

Lorsqu'il a décidé d'évacuer le véhicule, alerté par au moins un témoin, le conducteur a déclaré avoir laissé le moteur tourner et n'a pas activé le frein d'immobilisation du PL. Un témoin confirme que le moteur du PL tournait toujours après la collision. Les constatations judiciaires réalisées après le choc identifient un frein d'immobilisation non commandé depuis le poste de conduite.

Après le choc, le conducteur a déclaré être remonté dans sa cabine et avoir coupé le moteur en tournant la clé de contact. Dans son témoignage recueilli lors de la reconstitution judiciaire, il a précisé avoir positionné le sélecteur de la boîte de vitesse sur N au moment de cet arrêt, dans un geste d'habitude. Les constatations judiciaires réalisées après l'accident montrent le sélecteur sur la position N.

Photo issue du dossier d'enquête judiciaire

Lorsqu'il a été questionné sur sa formation, le conducteur a indiqué qu'il n'avait jamais été formé sur ce PL au passage entre le mode de conduite automatique ou manuel de la boîte de vitesses. Il précise que son formateur ne lui a pas montré ces actions, car la conduite se fait toujours en automatique. D'autre part, le conducteur a expliqué qu'il avait l'habitude de modèles d'autres marques de PL, avec des commodos sur le tableau de bord différents.

- ***sur l'ergonomie du poste de conduite***

Figure 28 : Visualisation du commodo du ralentisseur (en haut) et du commodo du mode de la boîte de vitesse (en bas)
Photo BEA-TT

L'action par la main droite sur le commodo du ralentisseur peut entraîner l'action sur l'extrémité du commodo de la boîte de vitesses.

Ces deux commandes sont proches l'une de l'autre, et il n'est pas nécessaire d'appuyer fortement sur l'extrémité du commodo de la boîte de vitesses pour changer le mode entre « A » automatique et « M » manuel.

Le BEA-TT considère que lorsque le conducteur du PL accidenté indique que le mode « A » (automatique) est revenu après des actions sur les commandes, sans avoir touché le sélecteur DNR, il est possible qu'il ait appuyé à nouveau sur l'extrémité du commodo de la boîte de vitesses. Cependant, avec cette hypothèse, l'impossibilité de démarrer le PL une fois le mode automatique revenu reste pour le moment sans explication, à moins que ce deuxième appui ait été réalisé dans les fractions de seconde avant sa sortie de la cabine, et que la charge émotionnelle au moment d'être alerté de l'arrivée d'un train ne lui ait pas permis de mémoriser précisément l'enchaînement des actions alors réalisées.

A contrario, le BEA-TT considère qu'une action du sélecteur de D vers N après le premier arrêt d'une quarantaine de secondes, donc avant le choc, permettrait d'expliquer ensuite l'impossibilité de redémarrer le PL, puisqu'aucune vitesse n'était alors engagée. Cependant, le conducteur du PL dans ses témoignages affirme n'avoir touché au sélecteur DNR qu'au moment d'arrêter le moteur, soit après l'accident.

- ***Les conclusions et les hypothèses du BEA-TT***

Le BEA-TT considère que l'ensemble routier accidenté a ralenti puis s'est arrêté dans un premier temps grâce à l'action de son conducteur sur le ralentisseur, sollicité via le commodo proche du volant, puis grâce à l'action du frein principal sollicité via la pédale de frein. Les données du chronotachygraphe étayent les déclarations du conducteur.

Le BEA-TT n'identifie pas de liens entre le court déplacement, identifié par le chronotachygraphe sur une distance de moins d'un mètre, à une vitesse de 1 km/h et durant deux secondes, et l'immobilisation finale de l'ensemble routier.

Il constate qu'en l'absence de traces de patinage des roues motrices relevées sur le platelage, les données du chronotachygraphe et le témoignage du conducteur du PL permettent de considérer que le PL a ensuite redémarré sur quelques mètres grâce à une action du moteur et de la boîte de vitesses sur la position D. L'ensemble routier a roulé jusqu'à 8 km/h en accélérant faiblement pendant 5 secondes, selon les données du chronotachygraphe.

Le conducteur indique dans son témoignage avoir ressenti une résistance de la machine au moment de ce redémarrage. Le BEA-TT n'a pas identifié la moindre trace étayant l'hypothèse d'un blocage du dernier essieu de la remorque suite à une rupture partielle ou totale de la liaison pneumatique du système de freinage de l'ensemble routier. Cette cause possible de difficulté pour le redémarrage est écartée.

Suite à ce redémarrage, les données du chronotachygraphe et le témoignage du conducteur concordent pour établir que le conducteur du PL a cessé son accélération après 5 secondes et a ensuite freiné très légèrement son véhicule jusqu'à l'arrêt complet de celui-ci. Le BEA-TT formule l'hypothèse que suite à sa perception d'une difficulté à redémarrer, le conducteur a probablement cessé la commande sur l'accélérateur et a immobilisé son véhicule. Cette décélération a duré 5 secondes.

Aucune trace de patinage des roues motrices n'ayant été identifiée, le BEA-TT considère que le PL a, d'après les données de son chronotachygraphe, probablement parcouru environ 9 mètres avant de s'immobiliser définitivement. En l'absence d'indice sur un problème sur le véhicule, le BEA-TT estime qu'il était probablement en capacité de franchir complètement le PN, même à vitesse réduite. Il en avait matériellement le temps, car le BEA-TT formule l'hypothèse que le PN n'était pas encore totalement fermé à ce moment, d'après le témoignage d'un autre usager situé derrière le PL.

Une fois le PL immobilisé, le BEA-TT estime que son conducteur a possiblement remis la boîte en position automatique en actionnant à nouveau le commodo. Cette hypothèse vient expliquer pourquoi, d'après son témoignage, il a vu le symbole « A » s'afficher à nouveau sur le tableau de bord. Il apparaît toutefois impossible d'horodater cette action.

Le sélecteur DNR a été retrouvé en position N (neutre) lors des constatations immédiates par les enquêteurs judiciaires. Le conducteur a indiqué dans son témoignage qu'il avait mis le sélecteur sur N au moment de couper le contact après la collision. Le BEA-TT n'a pas identifié d'éléments permettant de confirmer les affirmations du conducteur (action sur le sélecteur après le choc). Le BEA-TT note toutefois qu'une sélection vers N avant le choc entraînerait l'impossibilité effective de redémarrer le PL.

3.3.11 - Le conducteur du convoi routier

- **Les tests réalisés sur le conducteur**

  Les résultats des tests d'alcoolémie se sont révélés négatifs.

  Le conducteur n'était pas sous l'emprise de produits stupéfiants.

- ***L'utilisation de son téléphone portable***

  Une première analyse judiciaire des données de télécommunication de son téléphone portable a montré l'émission de plusieurs SMS entre 10 h 10 min et 10 h 34 min, heure présumée du choc.

  Toutefois, une analyse judiciaire approfondie du téléphone a permis d'identifier la présence d'un programme malveillant dans ce dernier. Ce programme a notamment pour conséquence l'émission de SMS sans action de la part de l'utilisateur.

  Le BEA-TT retient donc comme établi le fait que le conducteur du PL n'a pas émis par une action volontaire plusieurs SMS peu de temps avant l'accident.

- ***Ses blessures***

  Il n'a pas été blessé physiquement lors de cet accident, mais a été très marqué psychologiquement.

- ***Les conséquences sur son emploi***

  D'après son employeur, son contrat de travail a été arrêté à l'initiative de l'entreprise de transport, alors qu'il était dans sa période d'essai.

3.4 - Le train express régional, son conducteur et ses passagers

3.4.1 - Le train

Construite par la société Alstom et mise en service le 3 mars 2015, la rame automotrice de série Régiolis péri-urbain de type Alsace 3 et de numéro B 83511 L était la propriété de l'autorité organisatrice des mobilités « la région Grand Est ». Le trajet de ce train express régional était assuré par l'entreprise ferroviaire SNCF Voyageurs, tout comme l'entretien de la rame.

Le train pouvait fonctionner à l'énergie thermique ou à l'énergie électrique. Dans les alentours du lieu de l'accident, il circulait à l'énergie électrique.

Composé de six caisses et circulant en unité simple (US), ses six moteurs diesel étaient éteints et il comportait des réservoirs de gasoil non routier sous les voitures d'extrémité. La vitesse maximale autorisée de cette rame dans cette configuration et sur cette section était de 160 km/h.

Cet ensemble de 6 véhicules comportait 16 essieux et 8 bogies, dont 4 sous les voitures, et 4 autres entre les voitures. Le système de freinage comportait des freins à disque et des patins magnétiques.

D'une longueur de 110 m, d'une largeur de 2,85 m et d'une masse de 259 tonnes, d'une capacité de transport de 645 passagers dont 294 assis, ce train possédait notamment un enregistreur des données de conduite et la capacité de communiquer avec la technologie du GSM-R.

Figure 29 : Schéma illustratif d'un train similaire à celui accidenté
Source BEA-TT

Ce train bénéficiait des autorisations nécessaires pour effectuer ce trajet et possédait les équipements pour pouvoir circuler en France. Pour obtenir ces autorisations, le train a validé des tests, pouvant être réalisés par simulation ou par crash-test physique, qui ont confirmé le respect des exigences réglementaires européennes concernant la résistance au choc lors d'une collision avec un véhicule de grande hauteur à un passage à niveau[19], ainsi que d'un choc avec un obstacle bas.

Selon le témoignage de l'agent de conduite impliqué, la rame était en état de marche au début de sa mission, avec quelques défauts mineurs sans conséquence ni sur l'utilisation de l'engin, ni sur la sécurité.

Selon les données transmises par l'entreprise ferroviaire, la rame était régulièrement entretenue et ne comportait pas de défaut significatif avant le trajet.

19 Choc avec un véhicule routier de masse 15 tonnes percuté par un train roulant à 110 km/h.

3.4.2 - Le trajet d'approche du train

Le jour de l'accident, le train a quitté la gare de Strasbourg-ville à l'heure, soit à 10 h 17, à destination de Nancy-ville qu'il devait atteindre à 11 h 44 selon l'horaire prévu.

Selon le relevé des circulations de SNCF Réseau, il a circulé ensuite à l'heure et est passé au droit du bâtiment voyageur de la gare de Hochfelden à 10 h 32. Il n'était pas prévu que le train s'arrête avant Saverne.

Aucun élément perturbateur n'a été signalé par l'agent de conduite pendant ce trajet avant l'accident, qui s'est produit dans le premier quart du parcours.

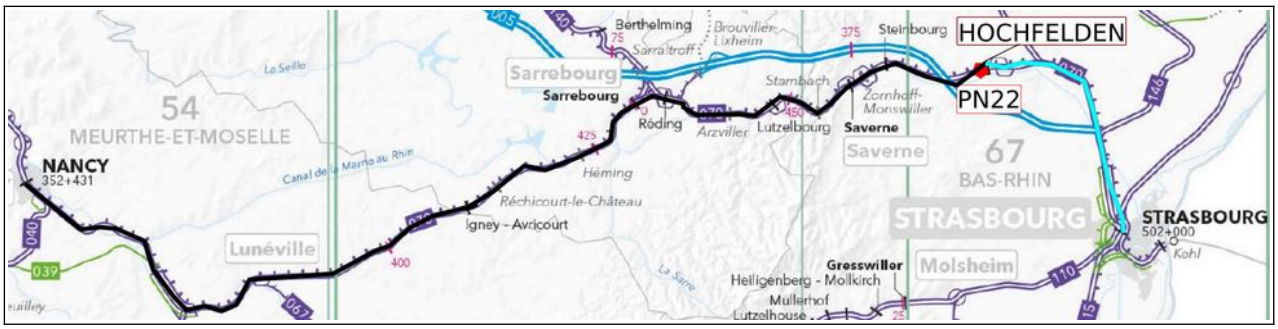


Figure 30 : illustration en bleu clair du trajet d'approche du train
Fond de carte atlas ferroviaire du RFN de SNCF Réseau, légendé BEA-TT

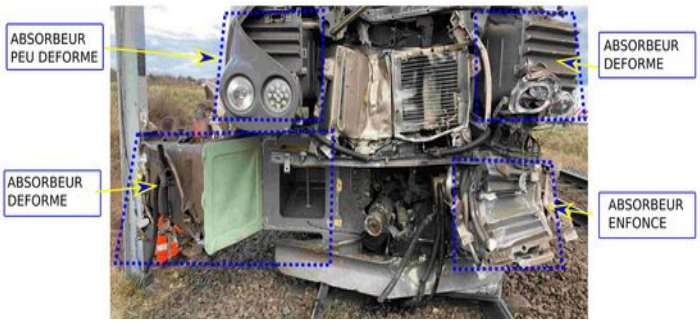
3.4.3 - Les dégâts occasionnés au train suite à la collision

L'objectif du BEA-TT dans les pages suivantes est de présenter les dégâts les plus significatifs sur le train, soit par leur gravité, soit par les enjeux de sécurité auxquels ils sont potentiellement liés.

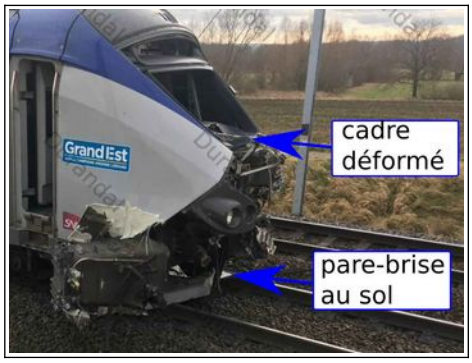
Le BEA-TT n'a pas reçu l'autorisation d'accéder à l'intérieur de la rame accidentée, placé sous scellés. Ces éléments présentés résultent en partie du rapport de l'expert judiciaire, en partie d'une visite réalisée à l'extérieur de la rame par les enquêteurs du BEA-TT et enfin à partir des travaux de SNCF Voyageurs dont certains experts ont pu monter une fois à bord du train.

- Les dégâts extérieurs

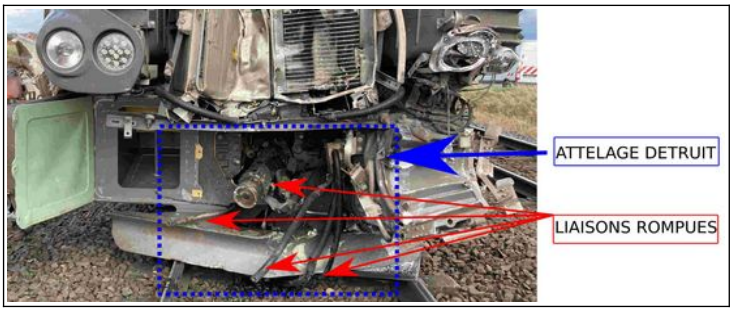
Face motrice absorbeurs :
Deux absorbeurs à gauche ont travaillé principalement longitudinalement.
À droite, l'absorbeur inférieur a subi des sollicitations transversales entraînant la rupture d'une partie de ses attaches.
Photo SNCF Réseau



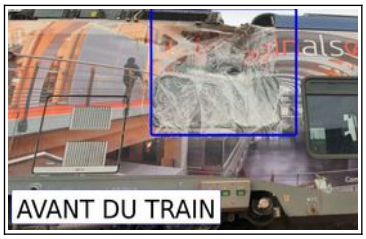
Face de la motrice, cadre du pare-brise :
Les éléments de liaison du pare-brise ont rempli leur rôle en maintenant cet élément à l'extérieur du poste de conduite. Aucune intrusion à l'intérieur de celui-ci n'a été constaté, protégeant l'agent de conduite. Le pare-brise est tombé de sa position lors de l'arrêt final du train.
Photo SNCF Réseau

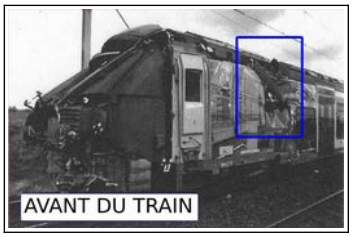


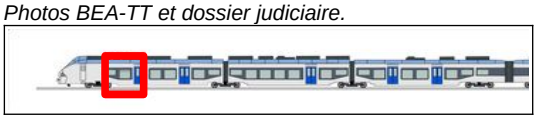
Face de la motrice, attelage :
L'attelage s'est rompu, les liaisons électriques et pneumatiques entre l'attelage et le train ont été détruites. Par contre, les liaisons mécaniques ont permis d'amortir longitudinalement et dans une moindre mesure transversalement une partie du choc.
Photo SNCF Réseau



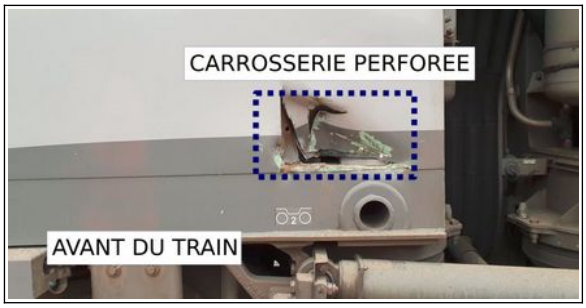
Côté gauche, sur le haut de la motrice :
Une profonde déformation est observée au niveau de la première fenêtre voyageurs. Le toit de la motrice est détérioré.
Photos BEA-TT et dossier judiciaire.

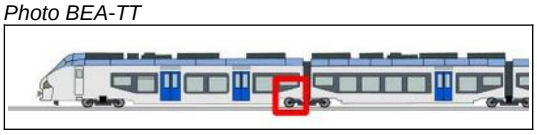




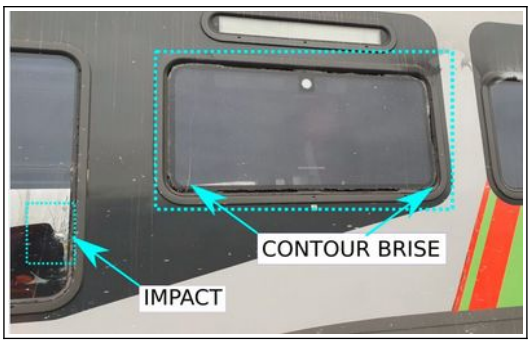


Côté gauche, carrosserie de la motrice :
À l'arrière de la motrice, la tôle extérieure a été perforée au-dessus de l'essieu.
Photo BEA-TT



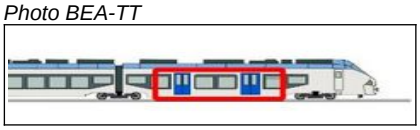


Côté gauche, vitres :
À l'exception de la première vitre, aucune autre n'a rompu côté gauche. Les déformations de la caisse ou la projection de pièces de la remorque ou de cailloux du ballast ont parfois étoilé ou brisé les vitres, mais ces dernières n'ont jamais complètement rompu.
Photo BEA-TT



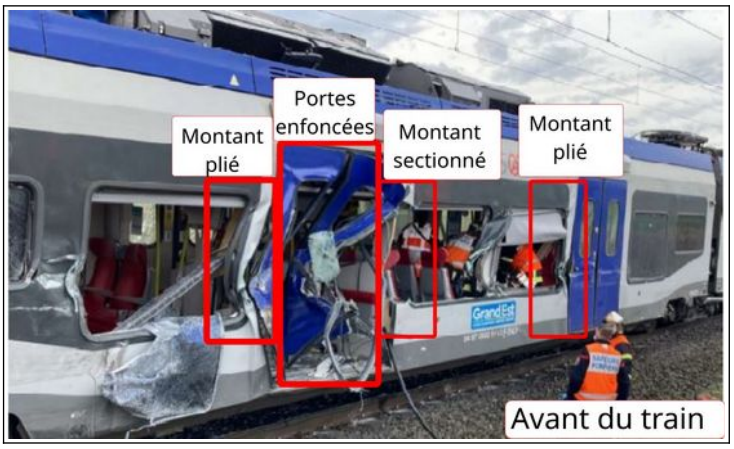
Côté droit, vitres et portes de la motrice : Des impacts significatifs apparaissent dès les premières portes. Les traces sont parallèles et horizontales. Les dégâts sont plus significatifs au niveau de la deuxième paire de portes, y compris au-dessus. Celles-ci sont restées en place.

Photo BEA-TT



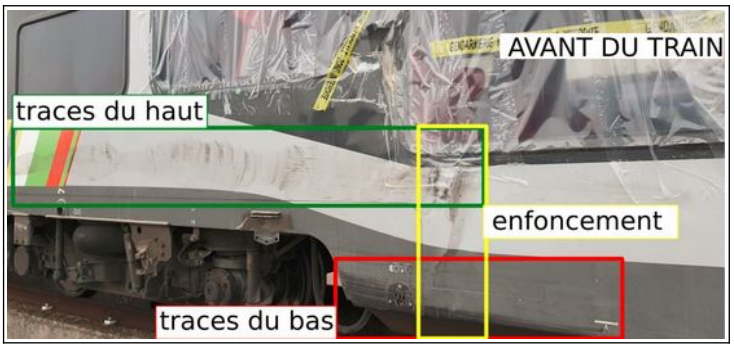
Côté droit, intrusion dans la 3e caisse : La quasi-totalité des baies vitrées sont détruites. De forts impacts sur le montant et les portes sont visibles. Certains montants sont sectionnés ou pliés.

Photo SNCF Réseau



Côté droit, traces sombres sur la 3e caisse : Si des traces sombres sont présentes côté droit sur plusieurs caisses, celles présentes sur la 3e se divisent en deux sections distinctes, dont une particulièrement haute qui débute avec un enfoncement marqué de la carrosserie.

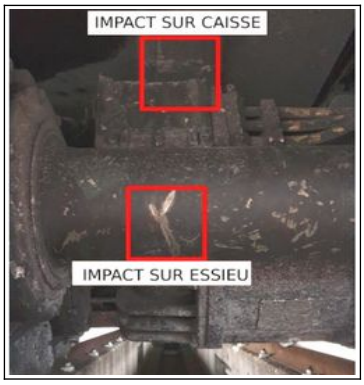
Photo BEA-TT



Le chasse-obstacles sous la motrice : Toujours en place malgré le choc, il a subi un impact important dans sa partie supérieure et deux impacts dans sa partie inférieure correspondant aux contacts avec les rails une fois la motrice déraillée.

Photo BEA-TT

Dessous, le 1er essieu du 1er bogie :
Un impact sur l'essieu moteur du premier essieu du premier bogie est identifiable. De plus, une trace de cabrage du bogie entraînant des déformations du châssis de caisse a été détectée par les experts de SNCF Voyageurs.
Photo BEA-TT



Dessous, les planchers :
Plusieurs impacts de forme circulaire perforant des planchers sont identifiés. Toutefois, ils n'ont pas abouti à un percement complet du revêtement de sol à l'intérieur des espaces voyageurs.
Photo BEA-TT

Dessous, les réservoirs de carburant :
Deux réservoirs à carburant ont été éventrés par des intrusions de forme circulaire. La fuite de carburant a pu engendrer une projection sur les rails, sur le ballast mais aussi sur les dispositifs de freinage du train.
Photo BEA-TT

Dessous, incendie électrique 4e caisse :
Le capot et des câbles ont fondu suite à un feu d'origine électrique. Ce feu a probablement été limité dans le temps et l'espace.
Photo SNCF Voyageurs

- ***Les dégâts intérieurs***

Plafond de la motrice :
Il a subi des déformations importantes, qui n'ont toutefois pas empêché l'ouverture de la porte du poste de conduite vers l'espace voyageurs.
Photo SNCF Voyageurs

Vitres côté intérieur :
Elles se sont comportées comme attendu en assurant dans de nombreux cas la protection des passagers alors que la vitre extérieure était étoilée ou brisée.
Parfois elles se sont brisées, soit à la suite d'une déformation du contour, soit de l'intrusion d'un élément extérieur au train, soit sous l'action des voyageurs lors de l'évacuation.
Photo SNCF Voyageurs

Parois intérieures :
Les parois intérieures ne sont pas conçues en double vitrage.
Leur rôle est essentiellement d'offrir une barrière à l'air frais provenant des plates-formes.
Plusieurs parois intérieures ont été brisées suite à des déformations de la caisse.
Photo SNCF Voyageurs

Porte-bagages :
Ces dispositifs ont globalement très bien résisté aux sollicitations. Exemple de l'intérieur de la 2e caisse.
Photo SNCF Voyageurs

Porte-cannes :
Plusieurs de ces dispositifs initialement situés sous les porte-bagages, de moindres dimensions et utilisés pour des vêtements ou accessoires légers, sont tombés dans l'espace voyageurs. Ils ont été identifiés comme des sujets d'analyse à approfondir.
Photo SNCF Voyageurs

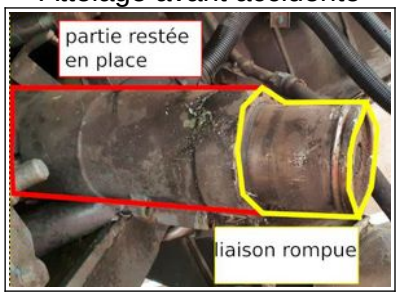
Sièges :
Les fixations des sièges au sol ont très bien résisté aux déformations. Certaines parties basses de certains sièges se sont rompues, notamment là où il y a eu intrusion d'éléments extérieurs dans l'espace voyageurs de la 3e caisse.
Photo SNCF Voyageurs

Planchers :
De fortes sollicitations issues du dessous de la rame ont parfois percé les planchers. Toutefois, il n'y a pas eu intrusion dans l'espace voyageurs, car deux planchers sont positionnés l'un au-dessus de l'autre.
Photo SNCF Voyageurs

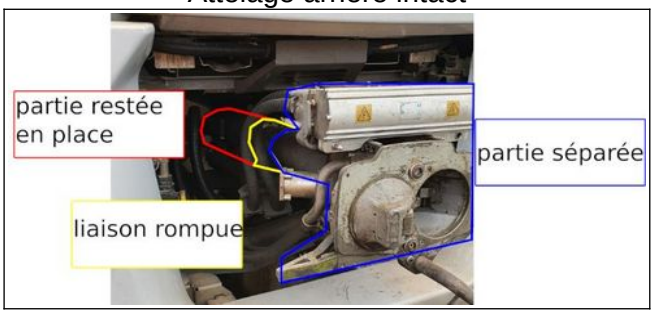
- ***Les éléments qui ont été séparés du train***

Attelage avant :
Une partie de l'attelage a été retrouvée à plus d'une centaine de mètres du point de choc. Cet attelage est composé de plusieurs pièces métalliques. La bague assurant la liaison entre les différentes partie de l'attelage est manquante sur l'avant du train accidenté, suite au choc.
Photos BEA-TT

Attelage avant accidenté



Attelage arrière intact



Carrosserie motrice, côté gauche :
Certains éléments de carrosserie de la motrice se sont séparés du train, dont un de grandes dimensions qui a été retrouvé non loin de la remorque.
Photo SNCF Réseau

3.4.4 - L'analyse de l'enregistreur de bord

Le train comporte un outil d'enregistrement des paramètres de conduite qui a pu être exploité par l'expert judiciaire. La résolution temporelle de l'enregistrement est d'une seconde, la résolution spatiale est de 10 mètres. Pour un train circulant à 160 km/h, soit environ 44 m/s, la résolution spatiale apporte donc une précision supérieure. Les résultats de l'analyse de l'expert ferroviaire sont repris ci-dessous.

Repère temporel par rapport au temps T du choc	Repère spatial par rapport au lieu L du choc	Vitesse du train (km/h)	Action
T – 47 s	L - 1 985 m	155	Passage sur le dispositif d'annonce du PN 22
T – 8 s	L – 320 m	155	Début de la zone où le PN 22 est susceptible d'être aperçu depuis la cabine de conduite
T – 6 s	L – 220 m	155	Franchissement du signal de sortie de la gare de Hochfelden
T – 6 s	L – 210 m	155	Coupure de la traction et commande du freinage d'urgence par le manipulateur. Enfoncement du BP-URG
T – 4 s	L – 170 m	155	Freinage d'urgence pneumatique effectif
T – 4 s	L – 160 m	153	Commande des patins magnétiques
T	L	143	Choc et arrêt de l'enregistrement de l'ATESS
(T + 20 à 25 s)	*(L + 985 m)*	*0*	*Arrêt du train*

À partir de ces informations et en les croisant avec les témoignages, le BEA-TT identifie les informations suivantes :

- à l'approche du PN n° 22, le train roulait à une vitesse inférieure à la vitesse maximale autorisée de 160 km/h ;
- l'agent de conduite a déclenché le freinage d'urgence avant la collision, alors que le train roulait à 155 km/h ;
- aucune action sur le sifflet du train n'a été enregistrée ;
- aucune action sur le lancement du signal d'alerte radio et du signal d'alerte lumineux n'est mentionnée par le rapport d'expertise ;
- au moment du choc l'enregistreur ATESS cesse son enregistrement ;
- au moment du choc, le train roulait à 143 km/h et était en phase de freinage d'urgence, avec les patins magnétiques sollicités.

3.4.5 - L'analyse des images de vidéo-protection à l'intérieur du train

Le BEA-TT n'a pas eu accès directement aux images, mais a pu étudier le rapport d'expertise judiciaire sur ce sujet.

Il apparaît qu'un tiers seulement des équipements de la vidéo-protection étaient fonctionnels, les autres équipements étaient soit dépourvus de dispositifs d'enregistrement ou ces dispositifs étaient défaillants.

L'analyse réalisée dans l'expertise judiciaire n'a pas permis de localiser avec certitude les personnes blessées dans le train.

Les enregistrements s'arrêtent à 10 h 53 min dans le référentiel temporel de la vidéo-protection, le BEA-TT en tire comme conclusion que l'alimentation électrique du système de vidéo-protection a été maintenue après le choc, contrairement à celle de l'ATESS.

3.4.6 - L'agent de conduite du train accidenté

Les résultats des tests sur l'alcoolémie et la prise de produits stupéfiants ont été négatifs. L'analyse des données de télécommunication de son téléphone portable a montré l'absence de communication dans l'heure qui a précédé l'accident.

Il a été légèrement blessé lors de cet accident.

Ses collègues et sa hiérarchie ont pris de ses nouvelles et une aide psychologique lui a été proposée par son employeur SNCF Voyageurs.

Après un peu plus d'un mois de repos, il a repris la conduite des trains.

3.4.7 - Les passagers du train accidenté

Une soixantaine de passagers étaient à bord du train au moment de la collision, ainsi qu'un agent du service commercial train (ASCT). Des cheminots qui se déplaçaient en tant que passagers ont apporté leur aide à l'équipage du train après la collision.

Un passager est décédé suite à cet accident. Gravement blessé lors de la collision, il avait été pris en charge par les équipes médicales puis héliporté à l'hôpital, où il n'a pas survécu à ses blessures.

Un autre passager a été gravement blessé.

Au moins quatre autres personnes ont été blessées légèrement et prises en charge par les secours.

3.5 - Les dégâts causés aux infrastructures et à l'environnement

3.5.1 - Les dégâts aux infrastructures ferroviaires

- *Sur le PN 22, lieu de l'accident*

Le mécanisme de la demi-barrière d'entrée au nord-ouest est détruit.

Photo dossier de flagrance

La lisse de la demi-barrière de sortie au nord-est est pliée. Elle présente des traces de frottement dans sa partie inférieure. Elle est cassée à son extrémité.

Photo dossier de flagrance

Le mécanisme de la demi-barrière de sortie au sud-ouest est détruit.

Photo dossier de flagrance

Les équipements au sud-est du PN sont intacts.

Photo dossier de flagrance

- *Entre le PN 22 et le PN 23*

Plusieurs poteaux supportant la caténaire ont été endommagés ou déformés. Cette ligne électrique de contact n'a pas été mise au sol. Au sud des voies, le poteau 474-4 est tordu, son ancrage endommagé.

Photo dossier de flagrance

Au nord des voies, le poteau 474-6 a subi des impacts significatifs par un objet suffisamment solide pour provoquer ces dégâts.

Photo BEA-TT

Au nord des voies, les guérites abritant les équipements électriques du PN, les abris à accumulateurs et d'autres équipements ont été détruits. Ils ne semblent pas avoir été impactés ni par le PL, ni par sa benne. Le BEA-TT privilégie un impact par l'essieu avant de la remorque, détaché du châssis de celle-ci.

Photo dossier de flagrance

- ***Sur le PN 23***

Une demi-barrière côté nord est endommagée. On y retrouve une barre métallique appartenant à l'ensemble routier, plus précisément la barre anti encastrement située initialement à l'arrière du PL.

Photo SNCF Réseau

Le platelage est détérioré, indiquant qu'un train l'a franchi en ayant une partie de ses roues hors des rails.

Photo SNCF Réseau

3.5.2 - Les dégâts aux infrastructures routières

En comparaison des dégâts aux infrastructures ferroviaires, ceux sur les infrastructures routières sur le PN 22 sont moindres. Des traces de ripage sont présentes sur le platelage.

3.5.3 - Les dégâts aux abords du PN 22

Des dégâts sur une maison située au sud-ouest du PN ont été conséquents. La maison a été heurtée par le caisson de la remorque, ce choc violent a entraîné une fragilisation de la structure. Des équipes spécialisées des sapeurs pompiers et d'autres experts ont évalué les dégâts. Plusieurs mois après l'accident, des étais soutenaient la maison en attendant des décisions sur son devenir.

D'autres éléments des abords du PN ont été détériorés suite à la collision, comme des clôtures.

3.5.4 - Les dégâts à l'environnement

Aucune fuite significative de carburant n'a été signalée sur le PN 22 pouvant provenir de l'ensemble routier.

Par contre, deux réservoirs à carburant du train ont été percés suite à la collision et au déraillement qui a suivi. Le carburant s'est répandu sur les quasi 900 mètres pendant lesquels le train a déraillé.

3.6 - Approfondissement sur le déraillement

3.6.1 - La cause initiale du déraillement

Le déraillement ne s'est pas produit immédiatement sur le PN 22 au moment du choc avec le PL, mais une cinquantaine de mètres plus loin. Or, le camion n'a pas atteint cette distance. Les enquêteurs du BEA-TT se sont interrogés sur la cause du déraillement.

La localisation du lieu initial du déraillement peut être établie par le début des traces laissées par les roues ayant déraillé sur les traverses de la voie ferrée.

La rupture d'un rail est un indice supplémentaire de la localisation d'une sollicitation très forte de la part de la motrice, probablement en retombant violemment au sol.

Photo SNCF Réseau

Partant de cette constatation, les investigations se sont portées sur la recherche de la cause du déraillement.

L'état des lieux judiciaire suite à l'accident montre l'absence d'une partie de l'attelage automatique avant du train, qui a été retrouvé à plus de 150 mètres du PN 22, soit plus d'une centaine de mètres après le début du déraillement.

Cette partie d'attelage, par ses dimensions, a pu passer sous le train, malgré la présence du chasse-obstacles.

Photo SNCF Réseau

Des traces d'impact ont été relevées sur le premier essieu du premier bogie du train.

Photo BEA-TT

Des traverses de la voie 2, notamment celles à proximité du lieu du début du déraillement, ont subi des déformations significatives en leur milieu.

Photo BEA-TT

Enfin, le conducteur du train a expliqué avoir perçu un bruit fort et bref peu de temps après la collision avec l'ensemble routier, et avoir senti la motrice du train décoller.

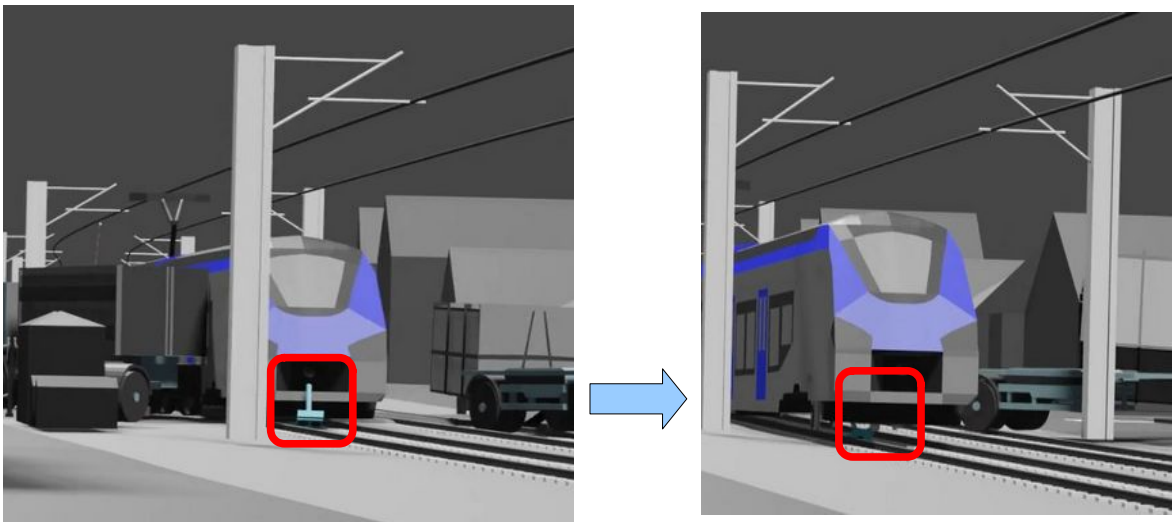


Figure 31 : Peu après le choc, l'attelage du train se détache et passe sous la motrice
Modélisation BEA-TT

Le BEA-TT privilégie l'hypothèse d'un déraillement résultant d'un décollage de la motrice, consécutif aux forces au moment du choc et possiblement par l'action de la partie d'attelage automatique coincée dans le ballast et contre une traverse. L'attelage (représenté en rouge dans la figure suivante) a probablement fait levier sur le premier essieu du premier bogie du train. Le bogie a dès lors pu se soulever.

Figure 32 : Déraillement du train
Schéma BEA-TT
Nota : l'attelage et l'altitude atteinte par la motrice ont été agrandis

Le déraillement a ensuite commencé au moment où la motrice est retombée au sol, entraînant la rupture d'un rail.

3.6.2 - Les facteurs limitant les conséquences du déraillement

Le BEA-TT s'est interrogé sur la trajectoire suivie par le train après le déraillement. Celui-ci a parcouru près de 900 mètres, avec des voies ferrées en courbe et en dévers. D'après les traces laissées sur les traverses, il ne s'est pas écarté de plus de 15 centimètres en transversal par rapport aux rails. Cette distance correspond aux traces laissées sur les traverses supportant les rails.

Deux éléments apparaissent avoir contribué à cette situation. Tout d'abord, dans sa conception, ce train Régiolis est de type boa, avec la moitié des bogies entre les caisses. Le train composé de six caisses est un assemblage de deux sous-sections de trois éléments, il peut être traversé de bout en bout. En cas de déraillement, chaque caisse est ainsi « tenue » par la liaison avec la caisse suivante, avec une rigidité plus importante en comparaison d'une liaison par attelage entre deux wagons.

Figure 33 : Localisation en violet des quatre bogies inter-caisses - *Source BEA-TT*

Des traces laissées sur le chasse-obstacles avant permettent de caler en transversal les positions du train déraillé. Ces positions sont confortées par les traces laissées sur les traverses.

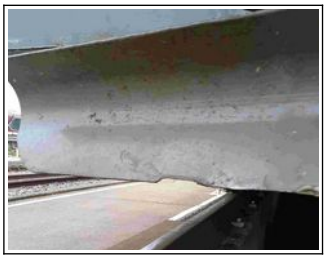
côté droit  côté gauche

Figure 34 : Localisation des traces laissées par les rails après déraillement sur le chasse-obstacles
Source BEA-TT

Lors de l'examen du dessous du train, il est apparu que le carter moteur a pu jouer un rôle en bloquant le déplacement transversal de l'essieu. Concrètement, la roue de l'essieu n'a pas pu s'écarter du rail d'une distance supérieure à la distance entre l'intérieur de la roue et l'extérieur du carter.

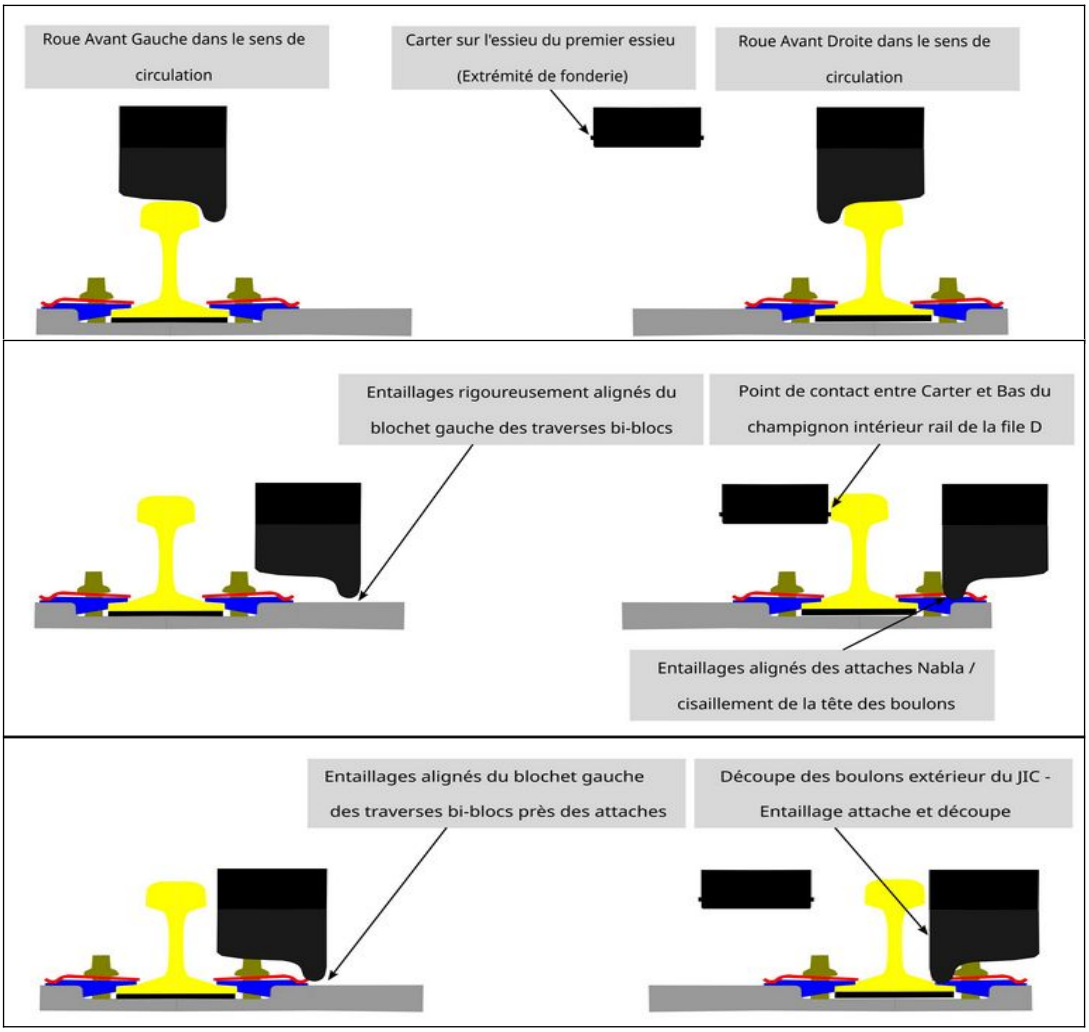


Figure 35 : Schémas chronologiques de la limitation transversale du déplacement après le déraillement grâce au carter moteur
Schémas BEA-TT

Ces éléments ont limité les conséquences du déraillement tant sur le matériel que sur l'environnement. Ils ont probablement limité la gravité des blessures des passagers, alors que la vitesse du train déraillé était encore élevée et que la voie était en courbe.

3.7 - Approfondissement sur les chocs

L'objectif de ces paragraphes est de mettre en perspective les dégâts observés avec l'identification des éléments qui ont pu provoquer de tels dégâts, afin de consolider la reconstitution cinématique de l'accident.

3.7.1 - Le choc initial entre la face de la motrice et l'ensemble routier

Au moment du choc initial, le train circulait à 143 km/h et l'ensemble routier était immobilisé. Compte tenu des dégâts constatés sur l'ensemble routier et des traces de ripage laissées sur le platelage du PN, le BEA-TT considère comme le plus probable que le choc initial n'ait concerné principalement que l'attelage de la remorque ainsi que son premier essieu.

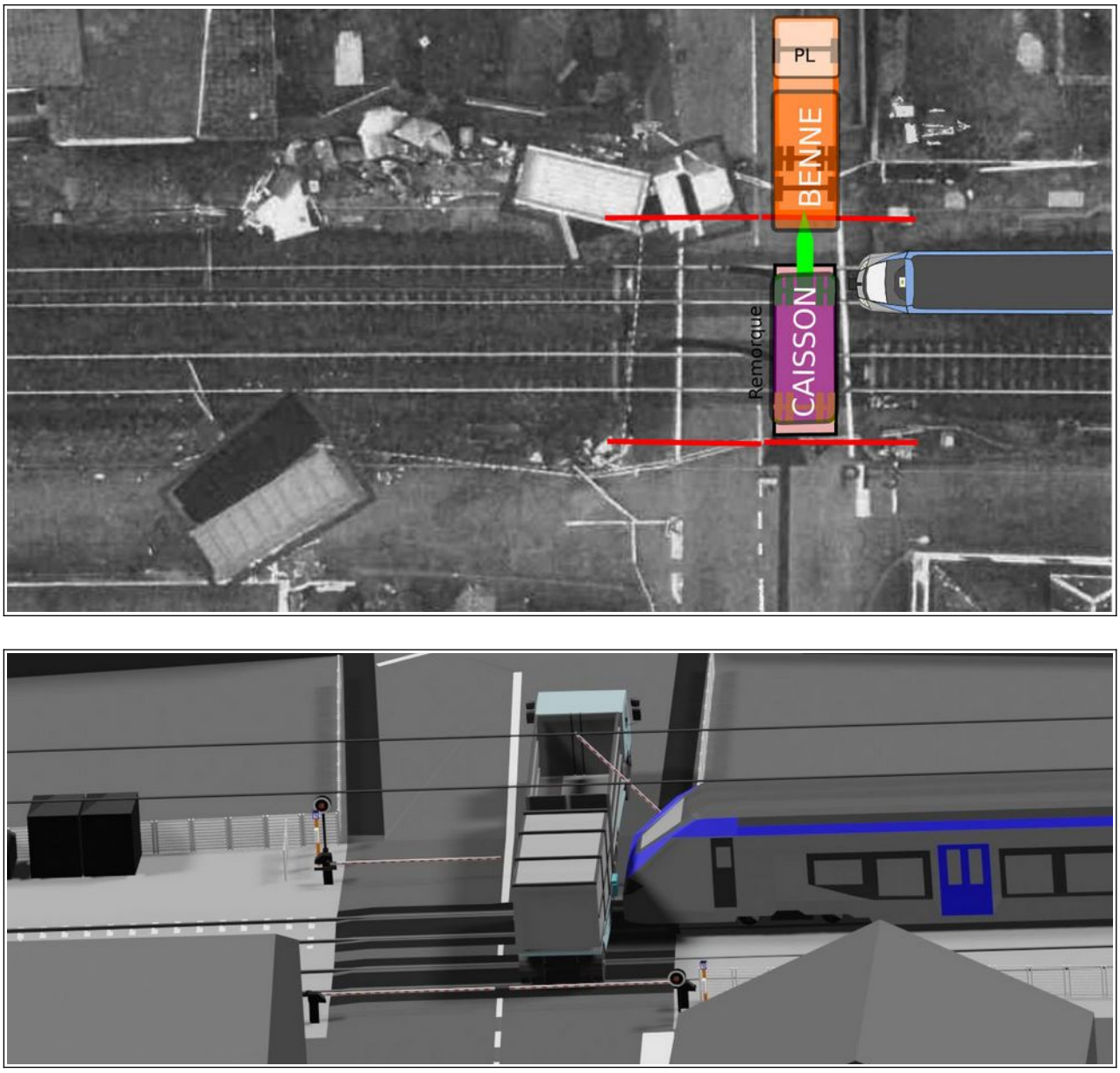


Figure 36 : Vue de dessus et en trois dimensions de la scène d'accident au moment du choc initial
source BEA-TT, fond d'image aérienne issue du dossier judiciaire

Ce choc initial va concerner la partie basse de la motrice du train, notamment les absorbeurs et l'attelage automatique du train, ainsi que l'attelage de la remorque routière.

L'impact du train sur l'ensemble routier va entraîner un mouvement de translation vers l'ouest du PL, ainsi que de rotation dans le sens horaire pour le porteur et dans le sens anti-horaire pour la remorque.

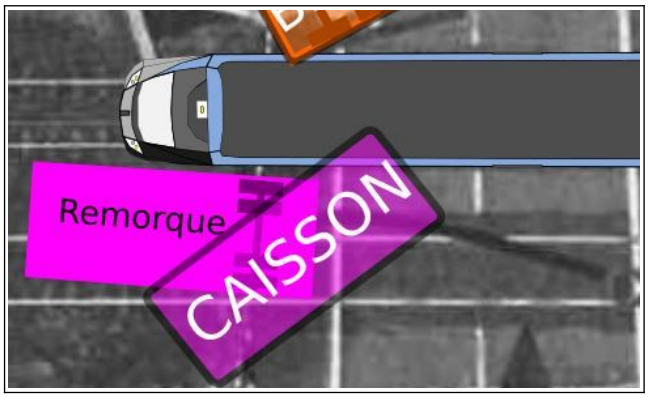
Le premier essieu de la remorque va se séparer du châssis de la remorque et suivre le PL, entraînant dans son mouvement l'absorbeur inférieur à l'avant droit du train.

La remorque va perdre son essieu avant ainsi que son attelage puis va subir une rotation dans le sens anti-horaire.

3.7.2 - Les chocs latéraux suivants côté gauche du train

Au niveau de la partie supérieure de la motrice, les dégâts profonds et pénétrants dans l'espace voyageurs sont probablement liés à une collision avec le caisson de la remorque. Détaché de la remorque, celui-ci a ensuite probablement été projeté sur la barrière sud-ouest du PN, puis sur la maison à proximité, où il s'est encastré contre le châssis de la remorque.

La carrosserie de l'arrière de la motrice a été perforée, probablement par un des coins de la remorque. Le châssis de la remorque, ayant perdu son essieu avant, est ensuite allé percuter le poteau de support de la caténaire et a été percuté dans un mouvement final par le caisson.



Choc du caisson avec la partie supérieure de la motrice

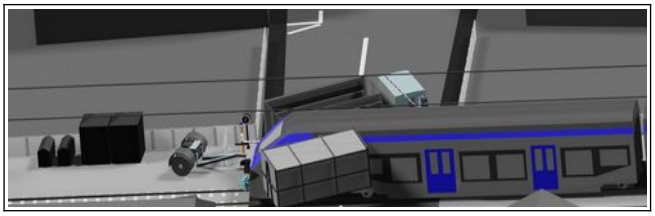


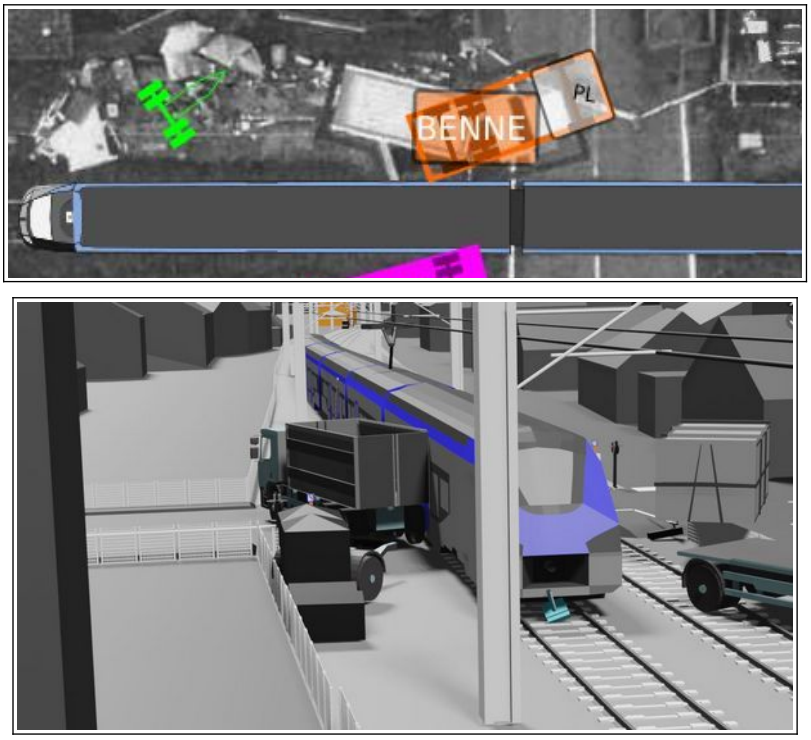
Figure 37 : Cinématique de l'accident pour le côté gauche du train, impliquant la remorque et son caisson
Source BEA-TT avec photo de la scène d'accident issue du dossier judiciaire et modélisation 3D par le BEA-TT

3.7.3 - Les chocs latéraux suivants côté droit du train

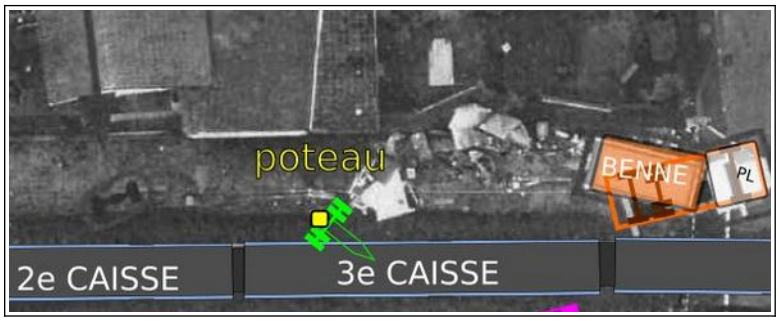
Sur la motrice, les principaux impacts côté droit sont représentés par des traces parallèles et rectilignes au niveau des portes et des vitres, ainsi que par des traces noires en partie inférieure.

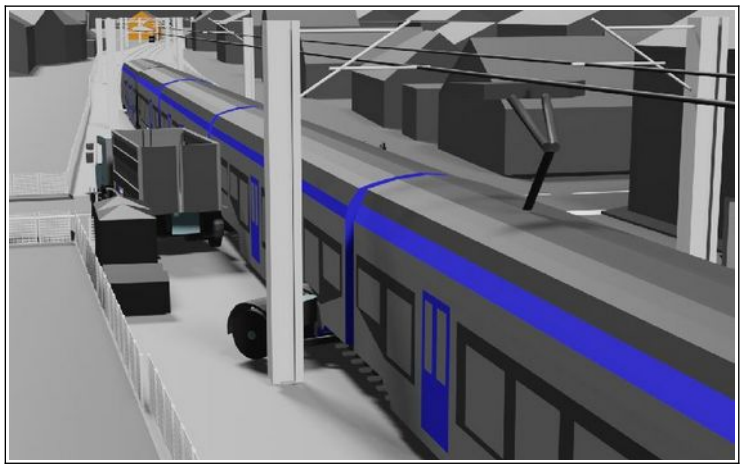
Pour le BEA-TT, les impacts du haut correspondent probablement à des impacts laissés par la benne métallique portée par le PL. Celles en partie inférieure sont probablement liées à des roues côté droit du PL. Suite à cette collision latérale, la partie arrière de la benne a été déformée, mais le crochet situé à l'avant l'a maintenue solidaire du PL.

Le BEA-TT considère comme scénario le plus probable, au vu du positionnement final du camion et de la benne, que l'attelage et l'essieu avant de la remorque ont été projetés sur les guérites et les installations du PN au nord-ouest, puis ont rebondi contre un poteau supportant la caténaire vers le côté droit du train, le heurtant violemment au niveau de la 3e caisse.



Choc entre le PL et sa benne sur la motrice





Choc entre l'essieu de la remorque et la 3e caisse

Figure 38 : Cinématique de l'accident pour le côté droit du train, impliquant le PL, sa benne et l'attelage/l'essieu avant de la remorque

Source BEA-TT avec photo de la scène d'accident issue du dossier judiciaire et modélisation 3D par le BEA-TT

4 - Le déroulement de l’accident et l’intervention des secours

La journée du jeudi 24 février 2022 est sans pluie avec des températures positives. Au moment de la collision, les infrastructures routières et ferroviaires sont sèches. Les conditions de visibilité sont correctes.

Un ensemble routier, composé d’un PL portant une benne métallique vide et tirant une remorque portant elle aussi un caisson métallique vide, circule depuis la déchetterie de Hochfelden en direction du nord. Son conducteur, récemment embauché et en compagnonnage jusqu’à la veille du jour de l’accident, a pris son service à 6 h du matin et effectue une première journée de travail seul sur ces itinéraires avec ce matériel roulant.

Le TER n° 835 016, composé d’une rame Régiolis de six caisses, avec une soixantaine de passagers à son bord, quitte Strasbourg à l’heure et roule en respectant la vitesse maximale autorisée en direction de ses prochaines destinations Saverne puis Nancy. Dans son trajet programmé, il ne doit pas desservir la gare de Hochfelden. Son conducteur a commencé sa journée de service à 5 h 30 et est accompagné par un agent du service commercial train, présent dans l’espace voyageurs.

Arrivant à proximité du PN 22, le conducteur du PL accidenté aperçoit un autre PL avec une semi-remorque circulant dans l’autre sens. Ce dernier, gêné dans sa progression par deux véhicules en stationnement, doit se décaler vers l’autre voie de circulation pour continuer son chemin, rendant difficile le croisement des deux PL.

Afin de faciliter cette manœuvre, le conducteur du PL accidenté actionne le ralentisseur de son véhicule et possiblement appuie de manière involontaire sur l’extrémité du commodo des vitesses, ce qui sélectionne le mode manuel. Il appuie sur la pédale de frein pour arrêter son véhicule. D’après le chronotachygraphe, le PL s’arrête pendant une dizaine de secondes, se déplace très légèrement et reste ensuite immobilisé une quarantaine de secondes à l’entrée du PN 22.

Une fois le croisement avec l’autre PL réalisé, il redémarre à une vitesse très réduite (8 km/h) et avec difficulté. Étonné, le conducteur immobilise son véhicule au bout de 10 secondes sur le platelage du PN.

À ce moment, il ne reste que peu de temps avant l’activation du passage à niveau, signalant l’arrivée d’un train dans un peu moins d’une minute après le lancement de l’annonce.

Lorsque le train franchit les équipements d’annonce du PN 22, les feux rouges commencent à clignoter, la sonnerie à tinter et, sept secondes plus tard, les deux demi-barrières d’entrée commencent à descendre. L’ensemble routier est immobile et suffisamment avancé pour que ces deux barrières d’entrée s’abaissent complètement, ce qui déclenche la fermeture des deux barrières de sortie. Seule une d’entre elles n’atteint pas sa position horizontale, puisqu’elle se pose sur l’arrière de la benne du poids lourd.

Alerté par un témoin, le conducteur du PL quitte son poste de conduite en laissant le moteur allumé et se réfugie à pied à quelques dizaines de mètres plus loin sur la route.

Ni le conducteur du PL, ni d’éventuels témoins n’utilisent les téléphones d’alerte du PN.

Au niveau de la gare de Hochfelden, 400 m en amont du lieu de l’accident, le conducteur du train observe les PN 20 et PN 21 fermés et il déclare avoir aperçu la remorque de l’ensemble routier sur le platelage du PN 22. Il déclenche le freinage d’urgence du train roulant alors à 155 km/h, ce que confirme l’enregistreur du train. Il s’accroupit dans sa cabine pour se préparer à l’impact inévitable. Il n’utilise pas le sifflet du train et ne déclenche pas l’alerte radio.

Le choc se produit à 143 km/h.

Sous le choc, l'essieu avant de la remorque se désolidarise du châssis de celle-ci et est projeté, ainsi que le PL, sur la droite du train. Le choc fragilise également l'attelage automatique du train.

La remorque et son caisson sont projetés sur le côté gauche du train.

L'essieu avant de la remorque heurte probablement un poteau de support de la caténaire nord, ce qui entrave son mouvement et favorise son intrusion dans l'espace voyageurs.

L'attelage automatique du train, fragilisé par le choc, se détache de son support, puis passe sous le chasse-obstacles pour finalement se retrouver sous le train.

Il détériore des traverses, puis se plante dans le ballast et, prenant appui sur des traverses, heurte le premier essieu du premier bogie, qui se soulève. Les roues du premier essieu retombent au sol, le train commence à dérailler.

L'attelage du train provoque de sérieux dégâts sur les réservoirs de carburant, les réservoirs d'air comprimé, les équipements électroniques, les liaisons électriques ou mécaniques. Il perfore le plancher extérieur au moins à deux endroits distincts, sans toutefois atteindre le plancher à l'intérieur des caisses. Finalement, l'attelage est éjecté des emprises ferroviaires et est retrouvé à 174 mètres en aval du PN 22.

Pendant que le train est encore en mouvement, le régulateur de SNCF Réseau perçoit l'alerte radio. En franchissant le PN 23 situé 450 m plus loin, le train endommage le platelage, ainsi qu'une demi-barrière. La barre arrière anti-encastrement du PL est également retrouvée à cet endroit.

Finalement, le train s'immobilise à plus de 950 m en aval du PN 22.

Le conducteur du train effectue les actions d'urgence. L'agent circulation de SNCF Réseau agit très rapidement notamment sur les signaux ferroviaires et par la radio en contactant les conducteurs des trains à proximité. Ceux-ci arrêtent leurs trains en urgence.

L'émission de l'alerte radio puis les appels des passagers au CODIS déclenchent la mise en mouvement des services de sécurité et de secours.

À l'intérieur du train, des cheminots n'étant pas en service portent assistance au conducteur, au contrôleur et participent à l'évacuation des passagers. Des personnes qui travaillaient à proximité du lieu d'arrêt du train portent également secours aux blessés en attendant l'arrivée des secours.

Les moyens humains et matériels importants sont mobilisés pour l'assistance aux victimes, notamment un hélicoptère du SAMU qui emmène à l'hôpital la personne la plus gravement blessée. D'après des sources de la presse régionale, une soixantaine de pompiers et une vingtaine de gendarmes sont mobilisés.

The accident and emergency response (*english version*)

Thursday, February 24, 2022 was a rainless day with positive temperatures. At the time of the collision, road and rail infrastructures were dry. Visibility conditions were good.

A HGV carrying an empty metal skip and a trailer also carrying an empty metal skip, was travelling northbound from the Hochfelden landfill site. The driver, who had just been hired and had been a journeyman until the day before the accident, started work at 6 a.m. and was working alone on these routes with theses vehicles for the first time.

Regional train no. 835 016, with some sixty passengers on board, left Strasbourg on time for its next destinations, Saverne and Nancy, at the maximum authorized speed. On its scheduled route, it does not have to serve Hochfelden station. The driver started his shift at 5:30 a.m. and is accompanied by a train agent in the passenger area.

Approaching level crossing (LC) no. 22, the driver of the HGV involved in the accident saw another HGV with a semi-trailer travelling in the opposite direction. The latter, impeded in its progress by two parked vehicles, had to move over to the other lane to continue its journey, making it difficult for the two HGVs to pass each other.

In order to facilitate this maneuver, the driver of the accident truck activated the retarder on his vehicle and possibly inadvertently pressed the end of the gearshift lever, thereby selecting manual mode. He then depresses the brake pedal to stop his vehicle. According to the tachograph, the truck stops for around ten seconds, moves slightly and then remains stationary for around forty seconds at the entrance to LC 22.

Once he had passed the other HGV, he started up again at a very low speed (8 km/h) and with difficulty. Amazed, the driver brings his vehicle to a halt after 10 seconds on the crossing planking.

At this point, only a short time remains before the crossing is activated, signalling the arrival of a train in just under a minute.

As the train passes through the announcement equipment of LC 22, the red lights start flashing, the bell start ringing and, seven seconds later, the two entrance half-gates start lowering. The HGV is stationary and sufficiently advanced for these two entrance barriers to lower completely, triggering the closure of the two exit barriers. Only one of them fails to reach its horizontal position, as it rests on the rear of the truck.

Alerted by a witness, the HGV driver left his driving position, leaving the engine running, and took refuge on foot a few dozen metres down the road.

Neither the HGV driver, nor any witnesses, used the emergency phones of the LC.

At Hochfelden station, 400 m upstream of the accident site, the train driver observed LC 20 and LC 21 closed, and reported seeing the trailer of the truck on the crossing planking. He initiated emergency braking on the train, which was then travelling at 155 km/h, as confirmed by the train recorder. He crouches down in his cab to prepare for the inevitable impact. He does not use the train whistle or activate the radio alert before the impact.

The impact occurred at 143 km/h.

As a result of the impact, the front axle of the trailer became detached from its chassis and was thrown, along with the truck, to the right of the train. The impact also weakened the train's automatic coupler.

The trailer and its metal skip were thrown to the left side of the train.

The front axle of the trailer probably struck a support post for the catenary, impeding its movement and allowing it to intrude into the passenger compartment of the train.

The train's automatic coupler, weakened by the impact, detaches from its support, then passes under the obstacle clearer and finally ends up under the train.

It damaged the sleepers, planted itself in the ballast and, leaning on the sleepers, hit the first axle of the first bogie of the train, which lifted off. The wheels on the first axle fall to the ground, and the train begins to derail.

The train's coupler causes serious damage to fuel tanks, compressed-air tanks, electronic equipment and electrical and mechanical connections. It perforates the outside floor in at least two places, but does not reach the floor inside the coach. Finally, the coupler was ejected from the railway right-of-way and found 174 metres downstream of LC 22.

While the train was still moving, the SNCF Réseau dispatcher heard the radio alert. As it passed through LC 23, 450 m further on, the train damaged the planking and a half barrier. The truck's rear underrun bar was also found at this point.

Finally, the train came to a halt more than 950 m downstream of LC 22.

The train driver takes emergency action. The SNCF Réseau traffic officer acted very quickly, notably on the railway signals and by radio, contacting the drivers of nearby trains. They stop their trains in a hurry.

The radio alert, followed by passenger calls to the emergency services, triggers the deployment of safety and rescue services.

Inside the train, off-duty railway workers assist the driver, and help evacuate passengers. People working in the vicinity of the train stop are also helping the injured until the emergency services arrive.

Substantial human and material resources were mobilized to assist the victims, including a medical helicopter which took the most seriously injured person to hospital. According to regional press sources, some sixty firefighters and twenty gendarmes were mobilized.

5 - L’analyse des causes et des facteurs associés, les orientations préventives

5.1 - L’arbre des causes

Les investigations conduites permettent d’établir les deux schémas ci-après qui synthétisent pour le premier le déroulement de l’accident et pour le second l’enchaînement des évènements après le choc. Les causes et les facteurs associés sont identifiés. Les liaisons en pointillés illustrent des relations encore hypothétiques au moment de rédaction du présent rapport.

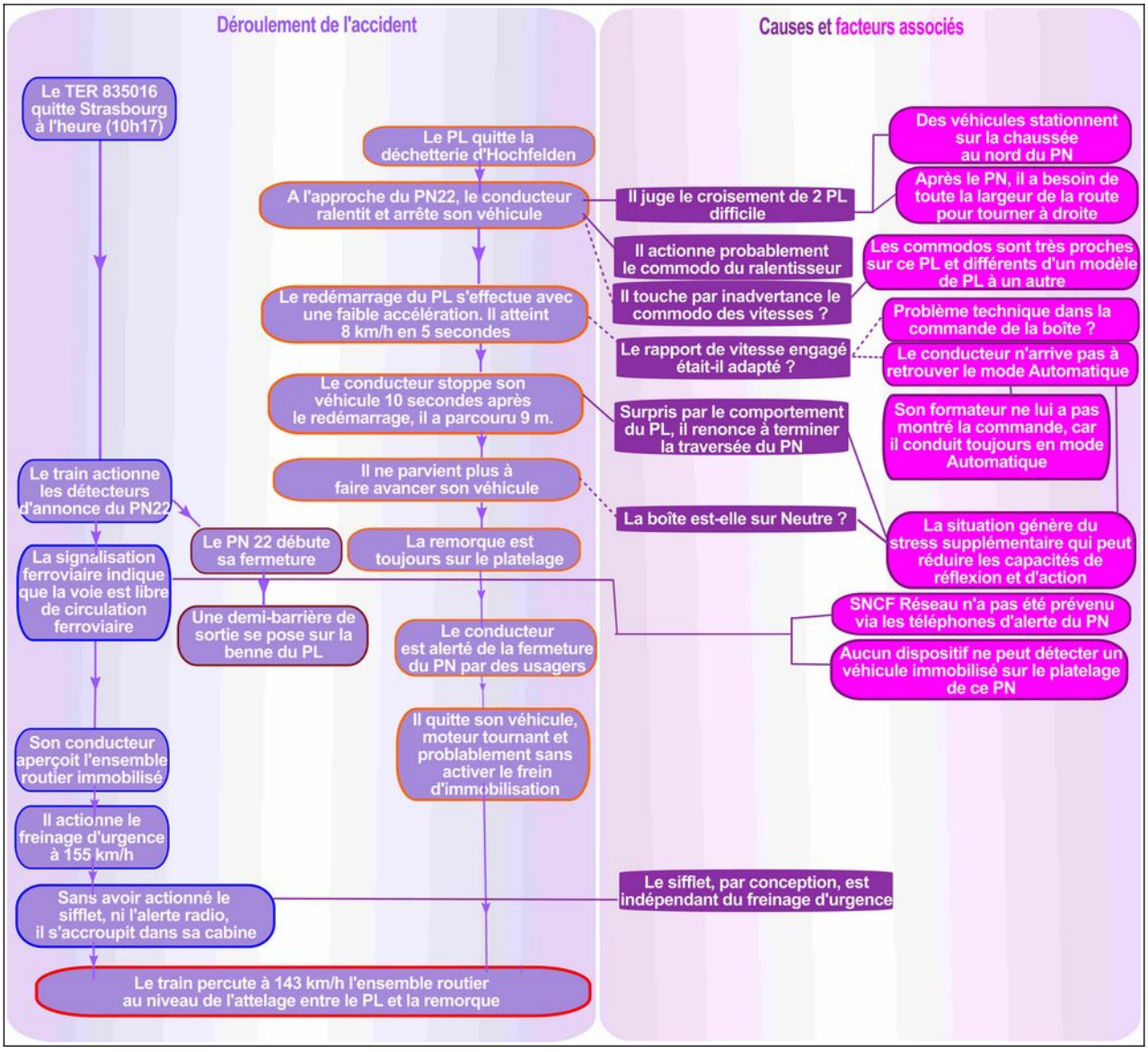


Figure 39 : schéma des causes et des facteurs associés (partie 1/2)
Source BEA-TT

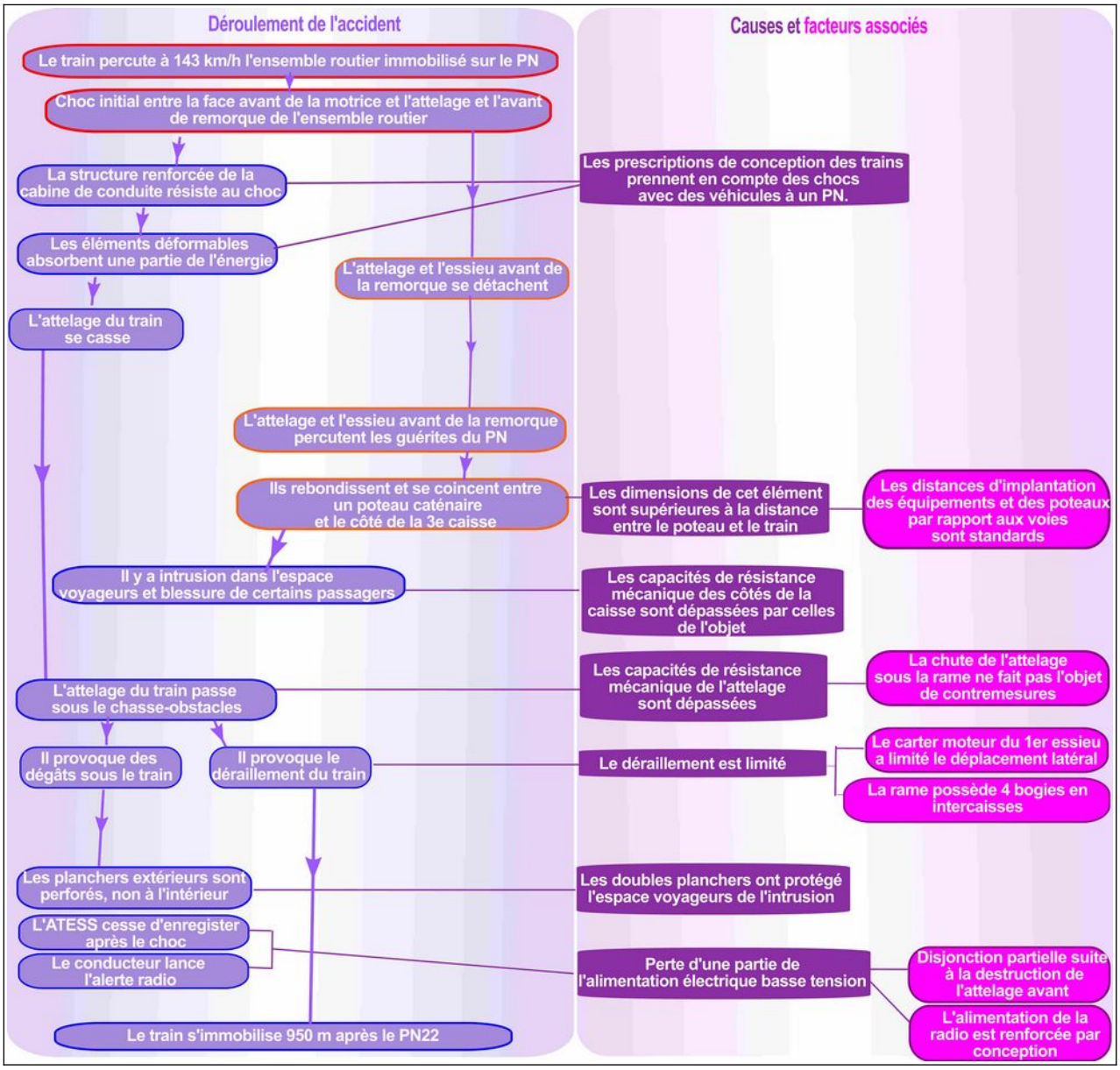


Figure 40 : Schéma des causes et des facteurs associés (partie 2/2)
Source BEA-TT

Cet arbre des causes amène à traiter les thèmes de sécurité traités aux parties 5.2 à 5.8 ci-après.

5.2 - La gestion des places de stationnement à proximité du PN

Le jour de l'accident, trois places de stationnement étaient autorisées au nord du PN (cf le § 2.3.3 du présent rapport).

Selon les constatations judiciaires, deux véhicules étaient arrêtés, dont un sur la place de stationnement située au plus près du PN.

Figure 41 : Visualisation des véhicules en stationnement à proximité du PN
Source dossier judiciaire et DREAL GRAND-EST

La largeur qui reste disponible alors que des véhicules sont garés est insuffisante pour que deux poids lourds puissent se croiser (voir figure ci-après).

Figure 42 : Visualisation de la largeur disponible pour que deux PL se croisent avec un VL stationné
Source dossier judiciaire

D'après son témoignage, le conducteur de l'ensemble routier accidenté devait tourner à droite dans une rue, pour cela il devait se décaler légèrement à gauche avant sa giration. Ce mouvement lui était impossible alors qu'un autre PL était en attente, bloqué dans son cheminement par les véhicules stationnés.

La responsabilité d'autoriser le stationnement relève des pouvoirs de police de la circulation du maire de la commune.

Après l'accident, ces places de stationnement ont été supprimées et une signalisation horizontale constituée d'un marquage jaune peint en bord de trottoir est venue matérialiser les interdictions de stationnement, de chaque côté de la route et de part et d'autre du PN 22, sur une distance de plusieurs dizaines de mètres.

Compte tenu de ces évolutions, le BEA-TT ne formule aucune recommandation sur l'aménagement.

Toutefois, il invite l'association des maires de France à rappeler tout l'intérêt d'interdire à proximité des PN les stationnements pour faciliter les franchissements de ces infrastructures par les véhicules lourds.

5.3 - La gestion des commandes du PL

Au moment de l'action sur le commodo du ralentisseur, le conducteur du PL a peut être par inadvertance touché le commodo de commande des vitesses, situé à proximité. En conséquence, la boîte de vitesses serait passée du mode automatique au mode manuel avant que le PL ne s'arrête.

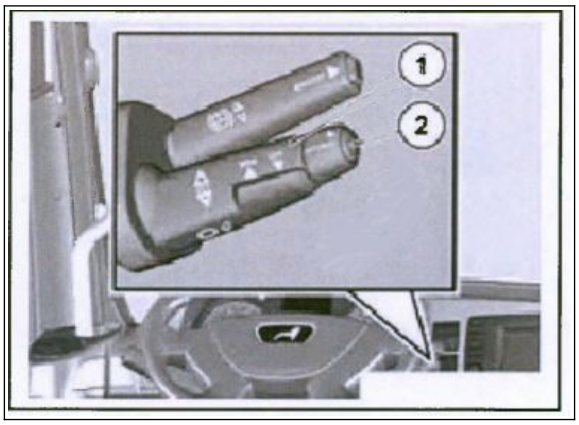


Figure 43 : Visualisation du commodo du ralentisseur (1) et du commodo des vitesses (2)
Source manuel utilisation MAN, retouché BEA-TT

Ce changement a pu contribuer au redémarrage difficile de l'ensemble routier après cet arrêt, qui a pu entraîner de l'incompréhension chez le conducteur.

Ce dernier a stoppé le véhicule dix secondes après son redémarrage, comme le montre les données du chronotachygraphe. Puis, selon ses déclarations, il a essayé de redémarrer à nouveau en actionnant probablement le commodo des vitesses. S'il a touché le sélecteur DNR en le positionnant sur N, alors l'impossibilité de redémarrer s'explique. Toutefois, le conducteur est catégorique, il n'aurait touché le sélecteur qu'après la collision, au moment d'éteindre le moteur.

Dans son rapport[20] d'enquête technique sur le renversement d'un autocar survenu le 17 mars 2012 au droit du rond-point de Gourvily à Quimper, le BEA-TT identifiait que *« La cause directe de l'accident est la vitesse excessive de l'autocar dans la bretelle concernée, qui a conduit à son renversement à la sortie du virage qu'elle comporte un peu en amont du rond-point de Gourvily.*

Cet excès de vitesse est la conséquence de manœuvres inappropriées du conducteur de cet autocar qui n'a pas pu le ralentir à l'aide des commandes manuelles du régulateur de vitesse et du ralentisseur hydraulique et qui les a manipulées pendant quelque 18 secondes avant d'appuyer sur la pédale actionnant le frein principal à air comprimé qui a alors fonctionné normalement.

[…] son conducteur a été perturbé par une manipulation malencontreuse et involontaire qui a maintenu ou réenclenché le régulateur de vitesse. […]

Trois facteurs ont joué un rôle dans cette situation : […]

- l'ergonomie de ces commandes manuelles qui sont regroupées sur une même manette multifonction dont l'actionnement présente des risques de confusion entre des fonctions de sécurité et des fonctions d'aide à la conduite ;

- une formation insuffisante des conducteurs de véhicules de transport de voyageurs aux conditions d'utilisation, en toute sécurité, des aides à la conduite, notamment lors des stages de formation professionnelle obligatoire. »

20 Le rapport est téléchargeable sur le site internet du BEA-TT

Le conducteur accidenté et son formateur s'accordent sur le fait que la formation du premier n'a pas porté sur la manipulation des commandes de la boîte de vitesses entre les modes manuel et automatique. Le formateur a indiqué toujours rouler en mode automatique, ce qui peut expliquer l'absence de formation sur cet équipement.

Le BEA-TT considère comme possible que le conducteur ait éprouvé des difficultés pour tenter de repasser en mode manuel, n'ayant pas été confronté à une telle situation pendant sa formation.

Compte tenu de l'importance des formations des conducteurs professionnels pour qu'ils réagissent au mieux lorsqu'ils sont confrontés à des situations à risque, le BEA-TT formule la recommandation et l'invitation suivantes :

Recommandation R1 adressée à la société de transports « Transports MAUFFREY »

Lors des formations initiales et continues des conducteurs ou de la prise en main de nouveaux matériels, insister sur la maîtrise des fonctions de base de commande de la boîte de vitesses et des systèmes de freinage des véhicules utilisés.

Dans le cadre de la prévention des risques routiers professionnels, fixer une consigne de réduction de l'exposition aux risques lors du franchissement d'un passage à niveau à partir des informations figurant sur le site :

https://www.securite-routiere.gouv.fr/chaque-situation-sa-conduite/conduire-sur-routes-specifiques/passage-niveau

Le BEA-TT invite les fédérations professionnelles du transport routier, ainsi que les organismes chargés de la formation des conducteurs professionnels à partager le retour d'expérience de cet accident pour insister sur l'importance de la maîtrise des fonctions essentielles comme le passage des vitesses ou la commande du ralentisseur. Insister également sur les comportements à adopter à l'approche et sur les passages à niveau : l'évacuation par les véhicules des voies ferrées, y compris à basse vitesse, sans changer le rapport de boîte et le cas échéant en brisant les barrières.

5.4 - La détection d'un obstacle sur le PN

5.4.1 - Le rappel de la configuration des lieux

Le PN 22, situé au PK 474 + 171 comporte quatre demi-barrières (système SAL 4).

Les dispositifs de déclenchement de l'annonce sur la voie 2 en circulation paire sont situés à 1 999 m en amont du PN. La vitesse maximale de circulation des trains sur cette section est de 160 km/h, soit 44 m/s.

Des signaux ferroviaires sont présents en amont :

- le signal C 14 est situé 234 m en amont du PN, parcourus en 5 secondes à cette vitesse ;
- le signal C 6 est situé 1 758 m en amont du PN, parcourus en 40 secondes.

La réglementation ferroviaire impose une distance de visibilité minimale sur les signaux de 300 m. Dans la configuration des lieux, cette visibilité est évaluée à plus de 1 000 m.

Les barrières d'entrée du PN 22 font l'objet d'un contrôle de fermeture. Si au moins une de ces deux barrières n'est pas fermée, cette information remonte au poste d'aiguillage et entraîne des restrictions dans l'état du signal C 14. Celui-ci ne pourra pas dans cette situation être passé au vert « Voie Libre » pour un train ayant desservi la gare d'Hochfelden. Cependant, cette condition n'est pas en vigueur pour un train ne desservant pas la gare d'Hochfelden, ce qui était le cas du train accidenté. En outre, les barrières de sortie ne font pas l'objet d'un tel contrôle.

Le PN à SAL 4 est doté de capteurs de fermeture pour les barrières d'entrée, qui n'autorisent la fermeture des barrières de sortie qu'une fois celles d'entrée détectées en position basse.

5.4.2 - Les actions menées par SNCF Réseau

Des études et des expérimentations sont en cours pour détecter un véhicule routier immobilisé ou cheminant entre les barrières du PN par des technologies de radar, lidar, ou d'analyse d'images (voir le rapport[21] d'enquête du BEA-TT sur l'accident au PN n° 8 de Roissy-en-Brie). Après le lancement de l'annonce :

- le système de détection par lidar ou radar pourrait confirmer la présence du véhicule et lancer quasi immédiatement l'ordre de changer la signalisation ferroviaire ;
- un système basé sur un contrôle de fermeture des barrières d'entrée nécessite 15 secondes pour détecter la présence d'une gêne à la fermeture ;
- un système basé sur un contrôle de fermeture des barrières de sortie nécessite 21 secondes pour détecter la présence d'une gêne à la fermeture.

Environ 300 PN seront équipés dans les prochaines années, dans le cadre du plan de relance, de caméras de vidéo-protection. Ces équipements permettent un traitement plus rapide des anomalies constatées (bris de barrière, comportements à risques, etc.) mais ces anomalies demeurent traitées en temps différé.

5.4.3 - Le changement de la signalisation ferroviaire après détection

En cas de détection d'un véhicule sur le PN et en présence d'une annonce d'un train, le signal C14 pourrait passer au rouge et le signal C6 passer au jaune d'avertissement.

Des modifications dans le câblage des installations du PN et de celui entre les installations du PN et les signaux C14 et C6 seraient probablement nécessaires pour

21 Le rapport d'enquête est disponible sur le site internet du BEA-TT

envisager ce nouveau fonctionnement. Cependant, certains capteurs de fermeture sont déjà installés sur les barrières d'entrée, ils pourraient être complétés par des capteurs de fermeture des barrières de sortie. La liaison entre ces capteurs et la signalisation ferroviaire reste à modifier.

5.4.4 - *La position de la tête de train au moment de ce changement de signalisation*

Au moment de l'activation du PN 22, la tête de train est encore à plus de 200 m en amont du signal C6 et à plus de 1 700 m du signal C14.

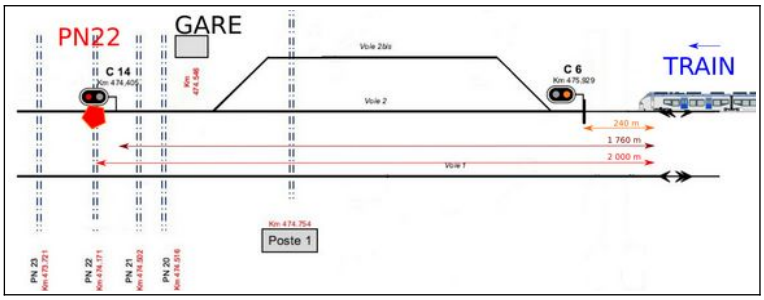


Figure 44 : Visualisation schématique de la situation lors du changement de signalisation ferroviaire envisageable en cas de détection d'un véhicule immobilisé sur le PN 22

Source BEA-TT d'après schéma initial de SNCF R nota le schéma n'est pas à l'échelle, le train non plus

Le changement de signalisation, dans le cas d'une détection d'une non-fermeture d'une barrière d'entrée, intervient au plus tôt 15 secondes après le lancement de l'annonce. C'est à ce moment que les barrières d'entrée devraient atteindre leur position horizontale. Dans ces conditions, la tête de train est située à environ 1 300 m en amont du PN 22, et à plus de 1 000 m en amont du signal C14. Elle est par contre en aval du signal C6.

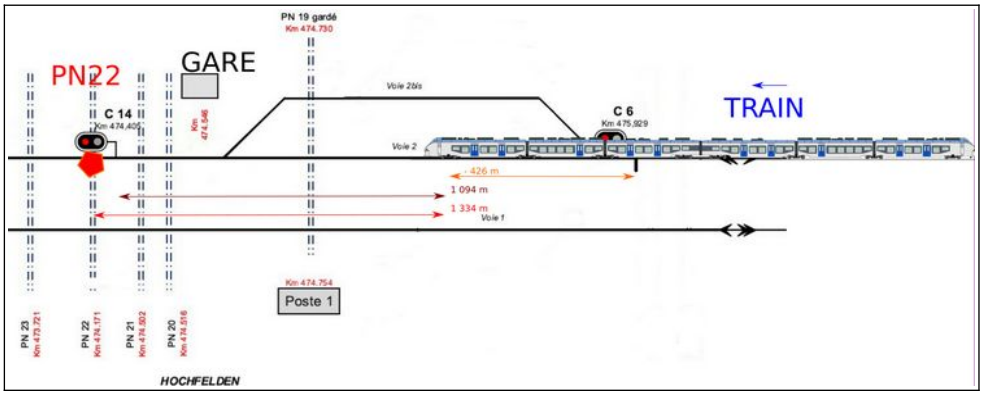


Figure 45 : Visualisation schématique de la situation lors du changement de signalisation ferroviaire envisageable en cas de détection de la non fermeture d'une barrière d'entrée du PN 22

Source BEA-TT d'après schéma initial de SNCF R nota le schéma n'est pas à l'échelle, le train non plus

Le changement de signalisation, dans le cas d'une détection de non-fermeture d'une barrière de sortie, intervient au plus tôt 21 secondes après le lancement de l'annonce. C'est à ce moment que les barrières de sortie devraient atteindre leur position horizontale. Dans ces conditions, la tête de train est située à plus de 1 000 m en amont du PN 22, et à un peu plus de 800 m en amont du signal C14.

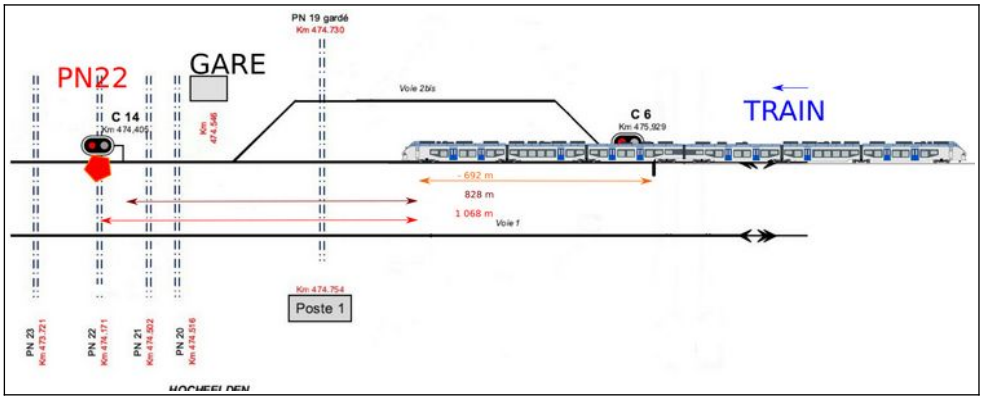


Figure 46 : Visualisation schématique de la situation lors du changement de signalisation ferroviaire envisageable en cas de détection de la non fermeture d'une barrière de sortie du PN 22

Source BEA-TT d'après schéma initial de SNCF R nota le schéma n'est pas à l'échelle, le train non plus

5.4.5 - Les actions des conducteurs de train face à une signalisation changeante

L'identification d'un signal d'avertissement par le conducteur du train entraînera la mise en œuvre d'un freinage pour que le train soit en mesure de s'arrêter au prochain signal d'arrêt (carré ou sémaphore).

L'identification directe d'un signal d'arrêt par le conducteur du train entraînera la mise en œuvre d'un freinage d'urgence.

Seule la détection d'un véhicule immobilisé sur le platelage au moment de l'annonce permet au conducteur du train de se voir présenter le signal d'avertissement C6 et d'arrêter son train avant le PN 22 en freinage conventionnel (décélération de l'ordre de - 0,6 m/s²).

Dans les autres situations, le changement d'état de la signalisation ferroviaire pourrait intervenir alors que la tête de train aurait déjà franchi le signal C6. Le conducteur du train se verrait donc présenter un signal C14 rouge, lui intimant l'ordre de s'arrêter en urgence.

Cet arrêt d'un train circulant à 160 km/h nécessite une distance de 800 m, comprenant le temps de deux secondes nécessaire pour prendre la décision de freiner et de mettre en œuvre le freinage d'urgence, soit une valeur de décélération moyenne en freinage d'urgence de - 1,4 m/s².

Dans l'accident étudié, au moins une barrière de sortie n'a pas pu atteindre sa position horizontale. Un système de détection aurait pu signaler au conducteur du train, via le passage du signal C14 de voie libre au rouge, la nécessité de freiner en urgence.

Le conducteur du train est attentif à la signalisation ferroviaire, celle-ci étant plus visible, quelles que soient les conditions d'éclairage, par rapport au profil d'un ensemble routier immobilisé sur le PN. Ce freinage aurait probablement pu être déclenché encore plus tôt que celui déclenché par le conducteur du train après qu'il a vu l'ensemble routier immobilisé. La vitesse du train à l'impact en aurait été réduite[22].

Compte tenu de l'enjeu identifié sur la détection d'un ensemble routier immobilisé et en complément des systèmes par caméras, le BEA-TT formule la recommandation suivante.

Recommandation R2 adressée à SNCF Réseau

Étudier la faisabilité technique et économique de l'installation sur des PN à SAL 4 de capteurs de fermeture sur les barrières de sortie qui permettraient la détection d'un véhicule immobilisé au droit des barrières, et la transmission de cette information aux conducteurs de train par la signalisation ferroviaire existante.

22 Le calcul d'un freinage d'urgence déclenché 300 m avant le signal, lui-même situé 234 m avant le PN donne comme résultat une vitesse résiduelle sur le PN d'un train circulant initialement à 155 km/h de 97 km/h, en prenant en compte un temps de réaction de deux secondes et une valeur de décélération de - 1,4 m/s². Ces valeurs sont de 111 km/h avec une décélération de - 1 m/s² et de 28 km/h avec - 2 m/s².

5.5 - La présence des premiers poteaux caténaires à proximité du PN

Les poteaux supportant la caténaire doivent résister à des contraintes mécaniques importantes. Ils sont dimensionnés en conséquence et sont solidement ancrés dans le sol. Ils peuvent constituer des points durs au sens d'obstacles présents dans la trajectoire des véhicules heurtés par le train.

5.5.1 - Un sujet déjà identifié aux PN

Dans le cadre de l'accident entre un autocar et un train à Millas en 2017 le BEA-TT avait identifié les éléments suivants :

« *la partie avant de l'autocar s'est enroulée autour d'un poteau support de caténaire situé à gauche de la voie ferrée, à environ 15 m du PN, qui a été plié, et la partie arrière a percuté les équipements du passage à niveau situés à droite du PN dans le sens de circulation du train* ».

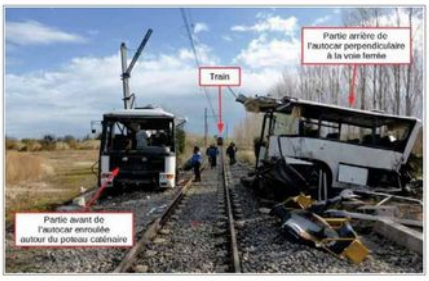


Figure 39 : Débris de l'autocar (vue depuis le passage à niveau)

Figure 64 : Avant droit de l'autocar accidenté

Figure 47 : illustrations extraites du rapport sur l'accident au PN de Millas
Source BEA-TT

Le BEA-TT avait identifié que la dislocation de l'autocar s'était probablement produite au moment du choc initial sur le PN, avant que l'avant du car ne percute le poteau.

« *La structure de l'autocar est constituée de longerons métalliques verticaux et horizontaux, sur lesquels sont soudés des panneaux de carrosserie. À l'emplacement de la porte latérale au milieu du côté droit, les longerons horizontaux sont absents du fait de la présence de la porte, sauf aux extrémités au niveau du toit et du sol. L'énergie mise en jeu dans le choc a été telle que l'autocar a probablement été coupé en deux dès l'impact, au niveau de cette zone de fragilité* ».

À Hochfelden, le choc initial entre le train et l'ensemble routier a disloqué ce dernier. Le BEA-TT retient comme scénario le plus probable que le premier essieu et l'attelage de la remorque ont été projetés côté droit dans le sens de circulation du train, puis ont heurté le poteau caténaire, et par ricochet sont entrés dans l'espace voyageurs par le côté de la troisième voiture.

5.5.2 - Un sujet déjà identifié pour les tramways

Le BEA-TT avait enquêté[23] sur un accident entre un véhicule léger et un tramway de la ligne T1 à Saint-Denis en 2013. Il avait identifié que *« Le bilan de cet accident est de cinq victimes. Dans le véhicule léger, un enfant décède et les trois autres occupants, deux adultes et un enfant, sont grièvement blessés. Le conducteur du tramway est légèrement blessé. […]*

Enfin, les conséquences de cet accident ont été aggravées par la présence, à proximité immédiate de l'intersection, d'un poteau support de la ligne aérienne de contact (LAC), contre lequel la voiture a été écrasée. ».

23 Le rapport d'enquête est disponible sur le site internet du BEA-TT

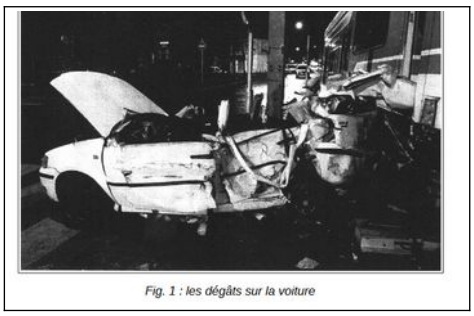


Fig. 1 : les dégâts sur la voiture

Fig. 21 : l'accident similaire survenu le 14 janvier 2006

Figure 48 : Illustrations extraites du rapport sur l'accident de Saint-Denis
source BEA-TT

Le service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG) a mis à jour[24] en 2022 son « guide technique relatif à l'implantation des obstacles fixes à proximité des intersections tramways/voies routières ».

Une recommandation à destination des autorités organisatrices de la mobilité avait été rédigée *« Achever rapidement les programmes de traitement des obstacles fixes susceptibles d'aggraver les conséquences des collisions entre les rames de tramway et les véhicules routiers, et prendre, en l'attente, des mesures simples et provisoires de prévention pour les plus critiques. ».*

5.5.3 - Des solutions techniques éprouvées existent

Des solutions techniques sont déjà mises en œuvre sur certains points particuliers du réseau ferroviaire, par exemple au niveau des quais des gares. Les poteaux sont éloignés latéralement des voies ferrées et par un système de potence, ils assurent leur fonction de support de la caténaire.

Dans le domaine routier, des supports de signalisation à sécurité passive (supports fusibles notamment) sont mis en œuvre. Le BEA-TT avait émis l'idée d'utiliser de tels supports au niveau des poteaux caténaires, mais SNCF Réseau a fait part, lors de la consultation sur le projet de rapport, des enjeux qui seraient possiblement créés vis-à-vis de la chute au sol de la caténaire toujours alimentée avec ce type de supports modifiés.

Prenant en compte cet aspect ainsi que l'enjeu identifié dans cette enquête, le BEA-TT formule la recommandation suivante :

Recommandation R3 adressée à SNCF Réseau

Étudier, en fonction des emprises disponibles et des sens des circulations ferroviaires, les conditions d'éloignement latéral des poteaux supports de la caténaire les plus proches du platelage d'un PN, dans le but d'éviter qu'un véhicule routier ou que son chargement ne vienne se coincer après un choc entre ces poteaux et le train. Le cas échéant en cas d'impossibilité, étudier un éloignement longitudinal des poteaux caténaires les plus proches du platelage.

24 Le guide est téléchargeable sur le site du STRMTG

5.6 - Le comportement de l’attelage automatique du train après le choc

Le déraillement s’est produit environ 100 mètres après la collision. La tête d’attelage, retrouvée encore 70 mètres plus loin, a pu être à l’origine du déraillement, puis transportée par le train. La partie d’attelage désolidarisée de son support est très probablement tombée sous le chasse-obstacles et a engendré des dégâts sous le train. Par un concours de circonstances exposé dans le § 3.6, les conséquences du déraillement auraient être plus graves si le train ne s’était pas retrouvé guidé par un des carters moteurs de la motrice contre le rail.

Dans le cadre de l’enquête sur l’accident de Serqueux en 2015, le BEA-TT avait recommandé à l’EPSF *« En associant le secteur ferroviaire et après avoir déterminé la forme la mieux appropriée au contexte européen : expliciter la façon de calculer et d’exploiter le gabarit de construction du matériel roulant de façon à optimiser le positionnement du chasse-obstacles vis-à-vis du risque de chevauchement d’un obstacle situé sur la voie ; formuler les prescriptions utiles pour l’identification des organes sensibles sous caisse, leur protection et leur positionnement en hauteur par rapport au chasse-obstacles. ».*

La forme et le positionnement du chasse-obstacles doivent être compatibles avec la présence d’équipements (balises, etc.) situés entre les rails. Compte tenu de l’identification de la cause du déraillement, le BEA-TT souhaite que puisse être examinée la possibilité de retenir[25] la partie extérieure de l’attelage automatique, potentiellement endommagée suite à un choc violent, et formule la recommandation suivante.

Recommandation R4 adressée à l’EPSF

Étudier l’opportunité de modifier les exigences sur les matériels roulants pour réduire le risque de passage sous la rame de l’attelage automatique suite à un choc particulièrement violent. En particulier, examiner l’ajout possible de dispositif de retenue (chaînes, câbles ou autres) sur la partie externe de l’attelage automatique.

Encourager au niveau européen l’inscription dans les documents d’homologation de ces exigences.

25 À titre d’illustration dans un tout autre domaine, la fédération internationale de l’automobile (FIA) a rendu obligatoire la présence de câbles sur certaines voitures de course, dont les Formule E, afin que la rupture de la liaison entre une roue et la voiture n’entraîne pas un détachement de cette roue (voir document « FIA Formula E World Championship – Technical Regulations 2023-2024 § 10.5)

5.7 - La perte des capacités d'enregistrement des évènements du train

5.7.1 - L'enregistrement des évènements

Les règles internationales, et particulièrement les règles européennes[26], imposent que les trains disposent de dispositifs d'enregistrement des évènements.

Les informations enregistrées sont utiles pour la compréhension de l'enchaînement des évènements. Elles sont notamment utilisées par le BEA-TT lors de ses enquêtes techniques, par les experts judiciaires et par la hiérarchie du conducteur du train.

Dans le cas étudié, l'enregistrement de l'ATESS s'est arrêté immédiatement après le choc.

Il a été établi par les témoignages que l'alerte radio avait été bien émise par le conducteur et transmise par la machine au régulateur de SNCF Réseau après le choc. Le BEA-TT considère que d'après ces éléments, la perte de l'alimentation basse tension a probablement été partielle, en préservant celle relative au système radio, mais pas celle de l'ATESS. Les données de l'ATESS enregistrées avant le choc ont été préservées.

5.7.2 - Le maintien de la radio sol-train après le choc

Dans le cadre de plusieurs enquêtes passées (relatives aux accidents ayant eu lieu sur les communes de Serqueux et de Boulzicourt notamment), le BEA-TT avait formulé des recommandations pour que les équipements de sécurité, et en premier lieu la radio, puissent bénéficier d'une alimentation en énergie même après un choc violent.

SNCF Voyageur avait réalisé des travaux de protection de l'alimentation en 72 V sur l'ensemble des rames de type AGC (autorail grande capacité), ainsi que des modifications pour les plus récentes rames Régio2N et Régiolis.

En particulier[27] *« la SNCF a engagé le déploiement d'un nouvel ordre de modification permettant d'une part l'alimentation permanente et dédiée de la radio sans passer par le coupleur électrique de l'attelage […] ».*

Le BEA-TT constate que sur cet accident, l'alimentation électrique de la radio sol-train a été maintenue même après un choc violent. Le signal d'alerte radio a pu être émis par le conducteur après le choc. Ce même conducteur a pu ensuite échanger, une fois son train arrêté, avec les agents de SNCF Réseau pour apporter des précisions sur la situation.

5.7.3 - Un système d'enregistrement des images de vidéo-protection perfectible

Des problèmes dans l'enregistrement des images de la vidéo-protection de ce train ont été mis en lumière. Certains enregistreurs étaient manquants, d'autres étaient défaillants depuis plusieurs années. En conséquence, seules une partie des images a pu être étudiée.

Toutefois, l'alimentation électrique de ces équipements a résisté au choc et à la destruction de l'attelage du train.

---

26 Voir § 2.4.4 de l'annexe III de la directive 2008/57/CE du parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire au sein de la Communauté « Les trains doivent être équipés d'un appareil enregistreur. Les données collectées par cet appareil et le traitement des informations doivent être harmonisés. » disponible sur le site de la Commission européenne

27 Voir le § 5.5.2 du rapport d'enquête technique du BEA-TT sur l'accident de Boulzicourt

Si les caméras et les enregistreurs d'images sont déployés dans un objectif de sûreté, le BEA-TT a déjà pu tirer des enseignements des images collectées lors d'enquête technique sur des accidents. Dans son rapport sur l'accident d'Avenay Val d'Or, le BEA-TT explique que l'état fermé du passage à niveau a pu être observé à travers les vitres des portes palières du train.

Le comportement des usagers juste après le choc, au moment de l'évacuation, peut utilement être analysé grâce à de telles images prises à l'intérieur de l'espace voyageurs.

5.7.4 - Certains équipements doivent être maintenus après un choc

Le BEA-TT considère que certains équipements utilisant l'énergie électrique doivent poursuivre leur fonctionnement, même après un choc important au niveau de l'attelage automatique. En particulier, l'éclairage à l'intérieur de l'espace voyageur, le système de vidéo-protection, ainsi que l'assistance à l'ouverture des portes sont des équipements présentant un fort enjeu de sécurité.

Le BEA-TT formule la recommandation et l'invitation suivantes :

Recommandation R5 adressée à l'EPSF

Avec les entreprises ferroviaires et les fabricants de matériels roulants, définir une liste d'équipements de sécurité ou de confort pour lesquels l'alimentation électrique doit perdurer après l'éventuelle destruction de l'attelage automatique suite à une collision avec un obstacle.

Encourager au niveau européen l'inscription dans les documents d'homologation des exigences de maintien de l'alimentation électrique sur les équipements identifiés.

Le BEA-TT invite SNCF Voyageurs, en se rapprochant des équipementiers sur la vidéo-protection et des fabricants de matériels roulants, de renforcer le programme de suivi et d'entretien des dispositifs d'enregistrement, pour que le plus grand nombre d'équipements soient fonctionnels.

5.8 - L’absence d’utilisation du sifflet du train

L’analyse des données enregistrées par le train avant le choc permet d’identifier l’absence d’utilisation du sifflet par son conducteur qui, après avoir détecté au loin l’ensemble routier immobilisé sur le PN, a déclenché le freinage d’urgence six secondes avant l’impact, puis a cherché à se mettre en sécurité dans sa cabine de conduite.

Dans l’enquête relative au heurt d’agents de maintenance de l’infrastructure par un TER à Schiltigheim[28] le 18 mars 2020, le BEA-TT avait émis la recommandation suivante à SNCF Voyageurs

« Étudier les moyens raisonnablement envisageables pour permettre à l’avertisseur sonore d’un train de se déclencher automatiquement lorsqu’un conducteur actionne le frein d’urgence du train en mouvement. »

SNCF Voyageurs a répondu le 14 février 2023 que *« La SA VOYAGEURS va porter à son niveau l'étude de faisabilité d'une telle évolution sur le parc de véhicules de sa responsabilité. Cette étude portera autant sur la faisabilité technique que sur les apports potentiels de l'association freinage d'urgence/sifflet en circulation sur l'amélioration de notre niveau global de sécurité ».*

Si dans l’accident d’Hochfelden la non-réalisation du geste métier « action du sifflet du train » n’a pas eu *a priori* de conséquence sur le caractère inévitable du choc, il apparaît concevable qu’une telle annonce sonore pendant plusieurs secondes aurait pu alerter les passagers du train sur l’imminence d’un évènement inhabituel.

Ce nouveau cas confirme s’il en était besoin, que les conducteurs ne sont pas toujours en mesure d’appliquer tous les gestes métiers qui prescrivent, d’une part de freiner en urgence en présence d’un obstacle sur la voie[29] et, d’autre part, d’utiliser immédiatement le sifflet en cas de présence confirmée ou fortement supposée de personnes à proximité de sa voie[30].

Le BEA-TT invite donc l’EPSF à accorder toute l’attention et l’exigence nécessaires aux suites qui seront données par SNCF Voyageurs à sa lettre de février 2023.

Il invite également les autres entreprises ferroviaires et les fabricants de matériels roulants à s’emparer de ce sujet.

28 Le rapport d’enquête est disponible sur le site internet du BEA-TT

29 Selon le référentiel de SNCF Voyageurs *« un conducteur qui constate la présence sur la voie d’un obstacle non protégé […] doit immédiatement prendre ou faire prendre les mesures nécessaires pour obtenir l’arrêt des trains avant qu’ils n’atteignent l’obstacle ou la zone de danger ».*

30 Selon ce même référentiel le sifflet est utilisé *« dans les cas où l’approche du train met en danger des personnes qui ne semblent pas prendre les dispositions pour se garer […] et pour annoncer l’approche du train aux agents éventuellement travaillant ou se déplaçant le long des voies compte tenu du risque de heurt par une circulation cachée par une autre circulation ainsi qu’à l’entrée et à la sortie d’un tunnel ».*

Recommendations (*english version*)

Management of parking spaces near the level crossing

On the day of the accident, three parking spaces were authorized to the north of the LC 22 (see § 2.3.3 of this report).

According to the judicial findings, two vehicles were stopped, one of which was in the parking space closest to the LC.

Figure : Visualization of parked vehicles in the vicinity of the LC

credits : dossier judiciaire et DREAL GRAND-EST

The width available when vehicles are parked is insufficient for two trucks to pass each other (see figure below).

Figure : Visualization of the width available for two HGVs to pass a parked vehicle

credits : dossier judiciaire

According to his testimony, the driver of the HGV had to turn right into a street, and to do so he had to shift slightly to the left before turning. He was unable to do this as another truck was waiting, blocked in its path by parked vehicles.

The city mayory is responsible for authorizing parking.

After the accident, these parking spaces were removed, and horizontal signs consisting of yellow markings painted on the kerbside were installed on both sides of the road and on both sides of LC 22, over a distance of several dozen metres.

In view of these developments, the BEA-TT makes no recommendations concerning the layout.

It does, however, invite the Association des maires de France (French coyi mayor's association) to reiterate the importance of prohibiting parking in the vicinity of level crossings, to make it easier for heavy vehicles to cross these infrastructures.

Management of switchs and levers of the truck

When pressing the retarder lever, the truck driver may have inadvertently touched the nearby gearshift lever. As a result, the gearbox would have switched from automatic to manual mode before the truck came to a halt.

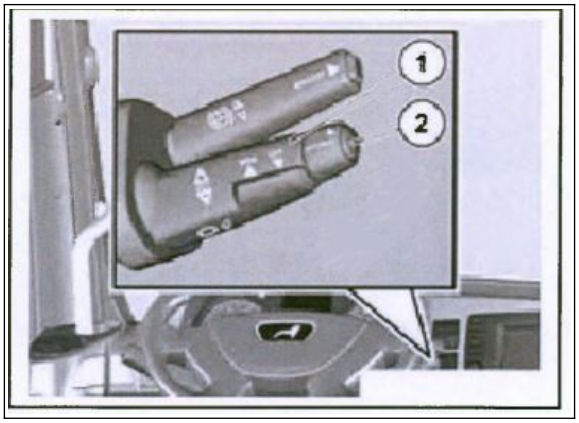


Figure : Visualization of the retarder lever (continuous brake) (1) and the gearshift lever (2)

credits : MAN user's manuel

This change may have contributed to the difficulty of restarting the vehicle after this stop, which may have led to misunderstanding on the part of the driver.

The driver stopped the vehicle ten seconds after restarting, as shown by the tachograph data. Then, according to his statements, he tried to restart again, probably by operating the gearshift. If he touched the DNR selector and set it to N, then the impossibility of restarting can be explained. However, the driver is adamant that he would only have touched the selector after the collision, when switching off the engine.

In its report on the technical investigation into the overturning of a coach on March 17, 2012 at the Gourvily traffic circle in Quimper, the BEA-TT identified that "*The direct cause of the accident was the excessive speed of the coach on the slip road concerned, which led to its overturning at the exit of the bend in the road just upstream of the Gourvily traffic circle.*

This speeding was the result of inappropriate manoeuvres by the driver of this coach, who was unable to slow it down using the manual controls for the cruise control and the hydraulic retarder, and who manipulated them for some 18 seconds before pressing the pedal activating the main compressed-air brake, which then functioned normally.

[...] his driver was disturbed by an unfortunate and involuntary manipulation which maintained or reset the cruise control. […]

Three factors played a role in this situation: […]

- the ergonomics of these manual controls, which are grouped together on a single multifunction joystick, whose operation presents the risk of confusion between safety functions and driver assistance functions;
- insufficient training of passenger transport drivers in the safe use of driving aids, particularly during compulsory vocational training courses."

The accident driver and his trainer agree that the former's training did not cover the handling of gearbox controls (levers) between manual and automatic modes. The trainer stated that he always drove in automatic mode, which may explain the lack of training on this equipment.

The BEA-TT considers it possible that the driver had difficulty in attempting to switch back to manual mode, as he had not been confronted with such a situation during his training.

In view of the importance of training professional drivers so that they can react as effectively as possible when faced with high-risk situations, the BEA-TT makes the following recommendation and invitation :

Recommendation R1 addressed to the "Transports MAUFFREY" transport company

During initial and ongoing driver training, or when new equipment is introduced, insist on mastery of the basic functions of the gearbox and braking systems of the vehicles used.

In the context of occupational road risk prevention, set instructions for reducing exposure to risks when crossing level crossings, based on the information provided on the website :

https://www.securite-routiere.gouv.fr/chaque-situation-sa-conduite/conduire-sur-routes-specifiques/passage-niveau

The BEA-TT invites professional road transport federations and organizations responsible for training professional drivers to share their experience of this accident, and to emphasize the importance of mastering essential functions such as gear shifting and retarder control. They will also be stressing the importance of adopting the right behaviour when approaching and driving over level crossings, i.e. evacuating the tracks, even at low speed, without changing gear and, if necessary, breaking the barriers.

Obstruction detection on level crossing

A reminder of the configuration of the site

LC 22 has four half-barriers.

The devices for triggering announcements on track 2 are located 1,999 m upstream of the PN. Maximum train speed on this section is 160 km/h, or 44 m/s.

Railway signals are present upstream :

- signal C 14 is 234 m upstream of the LC, covered in 5 seconds at this speed ;
- signal C 6 is located 1,758 m upstream of the LC, covered in 40 seconds.

Railway regulations stipulate a minimum visibility distance of 300 m for signals. Given the configuration of the site, this visibility is estimated at over 1,000 m.

The entrance half-barriers of LC 22 are subject to closing controls. If at least one of these two barriers is not closed, this information is passed on to the signal box, resulting in restrictions on the status of signal C 14. In this situation, the signal cannot be changed to green "Voie Libre" for a train that has served Hochfelden station. However, this condition does not apply to a train not serving Hochfelden station, as was the case with the accident train. In addition, the exit half-barriers are not subject to this type of control.

The LC is equipped with closing sensors for the entrance half-barriers, which only allow the exit half-barriers to close once the entrance half-barriers have been detected in the down position.

Actions taken by SNCF Réseau

Studies and experiments are underway to detect a road vehicle immobilized or moving between the barriers of a LC using radar, lidar or image analysis technologies (see the BEA-TT investigation report on the accident at LC no. 8 in Roissy-en-Brie). After the announcement :

- the lidar or radar detection system could confirm the presence of the vehicle and almost immediately initiate the order to change the rail signal;
- a system based on barriers closure control requires 15 seconds to detect the presence of an obstruction to closure;
- a system based on controlling the closing of exit barriers requires 21 seconds to detect the presence of a closing obstruction.

As part of the stimulus package, around 300 LC with video-protection cameras over the next few years. This equipment will enable any anomalies observed (broken barriers, risky behavior, etc.) to be dealt with more quickly, but these anomalies will continue to be dealt with on a delayed basis.

Changing rail signalling after detection

In the event of detection of a vehicle on the LC, and in the presence of a train announcement, signal C14 could switch to red and signal C6 to yellow.

Modifications to the wiring of the LC installations and that between the LC installations and signals C14 and C6 would probably be necessary to envisage this new operation. However, some closing sensors are already installed on the entrance barriers, and could be supplemented by closing sensors on the exit barriers. The link between these sensors and the railway signalling system remains to be modified.

The position of the head of the train at the time of this signal change

When LC 22 was activated, the head of the train was still more than 200 m upstream of signal C6 and more than 1,700 m from signal C14.

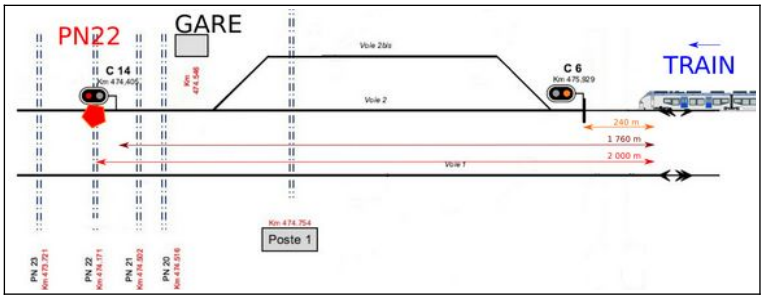


Figure: Schematic visualization of the situation during the possible change of railway signalling in the event of detection of an immobilized vehicle on LC 22.

credits BEA-TT

In the case of non-closure of an entrance barrier, the signal change occurs at the earliest 15 seconds after the announcement has been made. At this point, the entry barriers should reach their horizontal position. Under these conditions, the train head is located some 1,300 m upstream of LC 22, and over 1,000 m upstream of signal C14. On the other hand, it is downstream of signal C6.

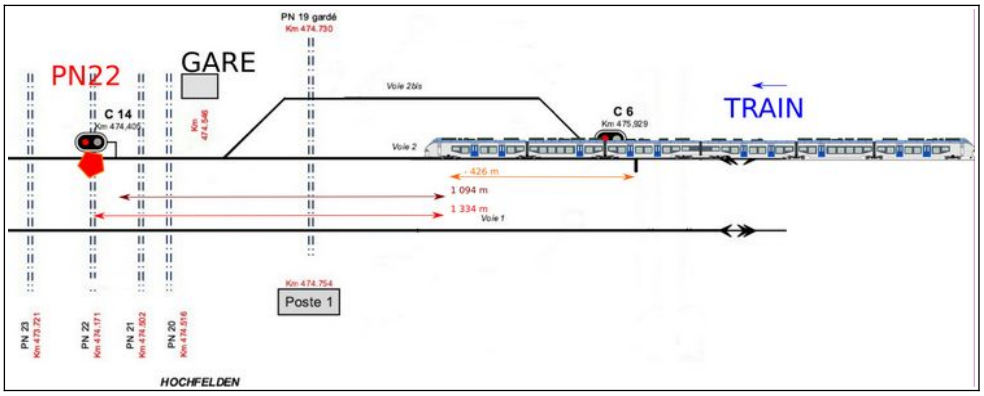


Figure: Schematic visualization of the situation in the event of a possible change of railway signalling in the event of detection of the non-closure of an entrance barrier to LC 22.

credits BEA-TT

The signal change, in the case of a non-closure detection of an exit barrier, occurs at the earliest 21 seconds after the announcement has been launched. At this point, the exit barriers should reach their horizontal position. Under these conditions, the train head is more than 1,000 m upstream of LC 22, and just over 800 m upstream of signal C14.

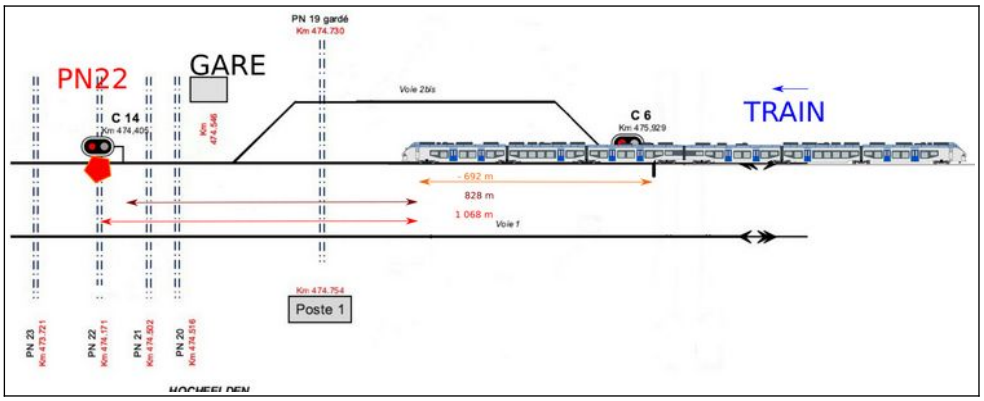


Figure : Schematic visualization of the situation during the possible change of railway signalling in the event of detection of the non-closure of an exit barrier at LC 22.

credits BEA-TT

Train drivers' actions when faced with changing signals

The identification of a warning signal by the train driver will lead to the implementation of braking so that the train is able to stop at the next stop signal.

Direct identification of a stop signal by the train driver will trigger emergency braking.

Only the detection of a vehicle immobilized on the planking at the time of the announcement allows the train driver to be presented with the C6 warning signal and to stop his train before LC 22 with conventional braking (deceleration of the order of – 0.6 m/s²).

In other situations, the change in rail signal status could occur when the head of the train has already passed signal C6. The train driver would then be presented with a red C14 signal, instructing him to stop urgently.

Stopping a train travelling at 160 km/h requires a distance of 800 m, including the two-second time needed to make the decision to brake and apply the emergency brake, i.e. an average emergency braking deceleration value of - 1.4 m/s².

In the accident studied, at least one exit barrier failed to reach its horizontal position. A detection system could have alerted the train driver to the need for emergency braking when signal C14 turned red.

The train driver pays close attention to railway signalling, which is more visible in all lighting conditions than the profile of a road unit immobilized on the PN. This braking action could probably have been triggered even earlier than the one triggered by the train

driver after seeing the immobilized vehicle. This would have reduced the train's speed at impact.

In view of the importance of detecting an immobilized road unit, and as a complement to camera systems, the BEA-TT makes the following recommendation :

Recommendation R2 addressed to SNCF Réseau

Study the technical and economic feasibility of installing closure sensors on the exit barriers of SAL 4 NPs, which would enable the detection of an immobilized vehicle at the barriers, and the transmission of this information to train drivers via the existing rail signalling system.

The presence of the first catenary poles near the LC

Catenary poles have to withstand considerable mechanical stress. They are sized accordingly and firmly anchored in the ground. They may constitute hard points in the sense of obstacles in the path of vehicles hit by the train.

A subject already identified at LCs

In the context of the accident between a coach and a train at Millas in 2017, the BEA-TT identified the following elements:

"the front part of the coach wrapped around a catenary support post located on the left of the track, around 15 m from the LC, which was bent, and the rear part hit the level crossing equipment located on the right of the LC in the train's direction of travel".

Figure: illustrations from the Millas LC accident report
credit BEA-TT

The BEA-TT had identified that the dislocation of the coach had probably occurred at the moment of the initial impact on the LC, before the front of the coach hit the pole.

"The coach's structure is made up of vertical and horizontal metal side members, to which body panels are welded. At the location of the side door in the middle of the right-hand side, the horizontal stringers are absent due to the presence of the door, except at the ends at roof and floor level. The energy involved in the impact was such that the coach was probably cut in two on impact, at this weak point".

In Hochfelden, the initial impact between the train and the road unit dislocated the latter. The BEA-TT considers the most likely scenario to be that the first axle and the trailer coupling were thrown to the right in the direction of train travel, then struck the catenary pole, ricocheting into the passenger compartment from the side of the third coach.

A subject already identified for trams

The BEA-TT investigated an accident between a light vehicle and a tram on line T1 in Saint-Denis in 2013. It identified that *"The toll of this accident is five victims. In the light vehicle, a child died and the three other occupants, two adults and a child, were seriously injured. The tram driver was slightly injured. […] Finally, the consequences of this accident were aggravated by the presence, in the immediate vicinity of the intersection, of a support pole for the overhead contact line, against which the car was crushed."*

Figure: illustrations from the Saint-Denis accident report
credit BEA-TT

The technical service in charge of safety for ropeways and guided transport (STRMTG) updated its "technical guide on the installation of fixed obstacles near tram/road intersections" in 2022. A recommendation for mobility organizing authorities was drafted "Quickly complete programs for dealing with fixed obstacles likely to aggravate the consequences of collisions between trams and road vehicles, and in the meantime, take simple and temporary preventive measures for the most critical ones."

Proven technical solutions exist

Technical solutions are already implemented at certain specific points of the railway network, for example at the level of station platforms. The posts are laterally spaced away from the railway tracks and by a system of brackets, they perform their function of supporting the catenary.

In the road sector, passive safety signaling supports (fuse supports in particular) are implemented. The BEA-TT had put forward the idea of using such supports at the level of the catenary posts, but SNCF Réseau mentioned, during the consultation on the draft report, the issues that would possibly be created with regard to the fall to the ground of the catenary always supplied with this type of modified supports.

Taking into account this aspect as well as the issue identified in this investigation, the BEA-TT makes the following recommendation :

Recommendation R3 addressed to SNCF Réseau

Study, depending on the available rights-of-way and the direction of rail traffic, the conditions for lateral separation of the catenary support posts closest to the planking of a level crossing, in order to prevent a road vehicle or its load from becoming stuck after an impact between these posts and the train. If necessary, if this is not possible, study a longitudinal separation of the catenary posts closest to the planking of the LC.

The behavior of the automatic train coupler after the impact

The derailment occurred approximately 100 metres after the collision. The coupling head, found another 70 metres further on, may have been the cause of the derailment and then transported by the train. The part of the coupling that had separated from its support most likely fell under the obstacle clearer and caused damage under the train.

Due to a combination of circumstances described in § 3.6, the consequences of the derailment would have been more serious if the train had not been guided by one of the engine casings of the power car against the rail.

As part of the investigation into the Serqueux accident in 2015, the BEA-TT recommended to the EPSF *"By involving the railway sector and after determining the most appropriate form for the European context: explain how to calculate and use the construction gauge of the rolling stock in order to optimise the positioning of the obstacle clearer with regard to the risk of overlapping an obstacle located on the track; formulate the useful requirements for identifying sensitive components under the body, their protection and their positioning in height in relation to the obstacle clearer."*.

The shape and positioning of the obstacle clearer must be compatible with the presence of equipment located between the rails. Given the identification of the cause of the derailment, the BEA-TT would like to examine the possibility of retaining the external part of the automatic coupler, potentially damaged following a violent impact, and makes the following recommendation. :

Recommendation R4 addressed to EPSF

Study the opportunity to modify the requirements on rolling stock to reduce the risk of the automatic coupler passing under the train following a particularly violent impact.

In particular, examine the possible addition of a restraining device (chains, cables or other) on the external part of the automatic coupler. Encourage at European level the inclusion of these requirements in the approval documents.

Loss of the train's event recording capabilities

Event recording

International regulations, and particularly European regulations, require that trains have event recording devices.

The information recorded is useful for understanding the sequence of events. It is used in particular by the BEA-TT during its technical investigations, by legal experts and by the train driver's hierarchy.

In the case studied, the ATESS recording stopped immediately after the impact.

It was established by the testimonies that the radio alert had indeed been issued by the driver and transmitted by the train to the SNCF Réseau regulator after the impact. The BEA-TT considers that according to these elements, the loss of the low-voltage power supply was probably partial, preserving that relating to the radio system, but not that of the ATESS. The ATESS data recorded before the impact were preserved.

Maintaining the ground-to-train radio after the impact

In the context of several past investigations (relating to the accidents that took place in the municipalities of Serqueux and Boulzicourt in particular), the BEA-TT had made recommendations so that safety equipment, and first and foremost the radio, could benefit from a power supply even after a violent impact. SNCF Voyageur had carried out work to protect the 72 V power supply on all AGC-type trains, as well as modifications for the most recent Régio2N and Régiolis trains.

In particular, "SNCF has initiated the deployment of a new modification order allowing, on the one hand, the permanent and dedicated power supply of the radio without going through the electrical coupler of the coupling [...]".

The BEA-TT notes that in this accident, the power supply of the ground-to-train radio was maintained even after a violent impact. The radio alert signal could have been emitted by the driver after the impact. This same driver was then able to speak, once his train had stopped, with SNCF Réseau agents to provide details on the situation.

A system for recording video protection images that could be improved

Problems in recording the video protection images of this train were highlighted. Some recorders were missing, others had been faulty for several years. As a result, only part of the images could be studied.

However, the power supply of this equipment withstood the impact and the destruction of the train automatic coupler.

While cameras and image recorders are deployed for security purposes, the BEA-TT has already been able to draw lessons from the images collected during technical investigations into accidents. In its report on the Avenay Val d'Or accident, the BEA-TT explains that the closed state of the level crossing could be observed through the windows of the train's platform doors.

The behaviour of users just after the impact, at the time of evacuation, can be usefully analysed using such images taken inside the passenger area.

Some equipment must be maintained after an impact

The BEA-TT considers that some equipment using electrical energy must continue to operate, even after a major impact to the automatic coupler. In particular, lighting inside the passenger area, the video protection system, and assistance with opening doors are equipment with a high safety issue.

The BEA-TT makes the following recommendation and invitation :

Recommendation R5 addressed to the EPSF

With railway companies and train manufacturers, define a list of safety or comfort equipment for which the power supply must continue after the possible destruction of the automatic coupler following a collision with an obstacle.

Encourage at European level the inclusion in approval documents of requirements for maintaining the power supply on the identified equipment.

The BEA-TT invites SNCF Voyageurs, by approaching video protection equipment manufacturers and train manufacturers, to strengthen the monitoring and maintenance program for recording devices, so that as many devices as possible are functional.

Failure to use the train whistle

Analysis of the data recorded by the train before the impact makes it possible to identify the failure to use the whistle by its driver who, after detecting the truck immobilized on the level crossing from a distance, triggered the emergency brake six seconds before the impact.

In the investigation into the collision of infrastructure maintenance workers by a regional train in Schiltigheim on March 18, 2020, the BEA-TT issued the following recommendation to SNCF Voyageurs

"Study the reasonably feasible means of enabling a train's horn to be triggered automatically when a driver applies the emergency brake of the moving train."

SNCF Voyageurs responded on February 14, 2023 that *"SA VOYAGEURS will carry out a feasibility study of such a development on the fleet of vehicles for which it is responsible. This study will focus on both the technical feasibility and the potential contributions of the emergency braking/whistle combination in traffic to improving our overall level of safety"*.

While in the Hochfelden accident the failure to perform the "train whistle" professional action did not *a priori* have any consequences on the inevitability of the collision, it seems conceivable that such an audible announcement for several seconds could have alerted the train passengers to the imminence of an unusual event.

This new case confirms, if it were necessary, that drivers are not always able to apply all the professional actions that prescribe, on the one hand, emergency braking in the presence of an obstacle on the track and, on the other hand, immediately using the whistle in the event of the confirmed or strongly assumed presence of people near the track.

The BEA-TT therefore invites the EPSF to pay all the necessary attention and requirement to the follow-up that will be given by SNCF Voyageurs to its letter of February 2023. It also invites other railway companies and train manufacturers to take up this subject.

6 - La synthèse des recommandations et des invitations

6.1 - La gestion des places de stationnement à proximité d'un PN

Le BEA-TT invite l'association des maires de France (AMF) à rappeler tout l'intérêt d'interdire à proximité des PN les stationnements pour faciliter les franchissements de ces infrastructures par les véhicules lourds.

6.2 - La gestion des commandes du poids lourd

Recommandation R1 adressée à la société de transports « Transports MAUFFREY »

Lors des formations initiales et continues des conducteurs ou de la prise en main de nouveaux matériels, insister sur la maîtrise des fonctions de base de commande de la boîte de vitesses et des systèmes de freinage des véhicules utilisés.

Dans le cadre de la prévention des risques routiers professionnels, fixer une consigne de réduction de l'exposition aux risques lors du franchissement d'un passage à niveau à partir des informations figurant sur le site :

https://www.securite-routiere.gouv.fr/chaque-situation-sa-conduite/conduire-sur-routes-specifiques/passage-niveau

Le BEA-TT invite les fédérations professionnelles du transport routier, ainsi que les organismes chargés de la formation des conducteurs professionnels à partager le retour d'expérience de cet accident pour insister sur l'importance de la maîtrise des fonctions essentielles comme le passage des vitesses ou la commande du ralentisseur. Insister également sur les comportements à adopter à l'approche et sur les passages à niveau : l'évacuation par les véhicules des voies ferrées, y compris à basse vitesse, sans changer le rapport de boîte et le cas échéant en brisant les barrières.

6.3 - La détection d'un obstacle sur le PN

Recommandation R2 adressée à SNCF Réseau

Étudier la faisabilité technique et économique de l'installation sur des PN à SAL 4 de capteurs de fermeture sur les barrières de sortie qui permettraient la détection d'un véhicule immobilisé au droit des barrières, et la transmission de cette information aux conducteurs de train par la signalisation ferroviaire existante.

6.4 - La présence des premiers poteaux caténaires à proximité du PN

Recommandation R3 adressée à SNCF Réseau

Étudier, en fonction des emprises disponibles et des sens des circulations ferroviaires, les conditions d'éloignement latéral des poteaux supports de la caténaire les plus proches du platelage d'un PN, dans le but d'éviter qu'un véhicule routier ou que son chargement ne vienne se coincer après un choc entre ces poteaux et le train. Le cas échéant en cas d'impossibilité, étudier un éloignement longitudinal des poteaux caténaires les plus proches du platelage.

6.5 - Le comportement de l’attelage automatique du train après le choc

Recommandation R4 adressée à l’EPSF

Étudier l’opportunité de modifier les exigences sur les matériels roulants pour réduire le risque de passage sous la rame de l’attelage automatique suite à un choc particulièrement violent. En particulier, examiner l’ajout possible de dispositif de retenue (chaînes, câbles ou autres) sur la partie externe de l’attelage automatique.

Encourager au niveau européen l’inscription dans les documents d’homologation de ces exigences.

6.6 - La perte des capacités d’enregistrement des évènements du train

Recommandation R5 adressée à l’EPSF

Avec les entreprises ferroviaires et les fabricants de matériels roulants, définir une liste d’équipements de sécurité ou de confort pour lesquels l’alimentation électrique doit perdurer après l’éventuelle destruction de l’attelage automatique suite à une collision avec un obstacle.

Encourager au niveau européen l’inscription dans les documents d’homologation des exigences de maintien de l’alimentation électrique sur les équipements identifiés.

Le BEA-TT invite SNCF Voyageurs, en se rapprochant des équipementiers sur la vidéo-protection et des fabricants de matériels roulants, de renforcer le programme de suivi et d’entretien des dispositifs d’enregistrement, pour que le plus grand nombre d’équipements soient fonctionnels.

6.7 - L’absence d’utilisation du sifflet du train

Le BEA-TT invite donc l’EPSF à accorder toute l’attention et l’exigence nécessaires aux suites qui seront données par SNCF Voyageurs à sa lettre de février 2023.

Il invite également les autres entreprises ferroviaires et les fabricants de matériels roulants à s’emparer de ce sujet.

Summary of recommendations and invitations (*english version)*

The BEA-TT invite the Association des maires de France (French coyi mayor's association) to reiterate the importance of prohibiting parking in the vicinity of level crossings, to make it easier for heavy vehicles to cross these infrastructures.

Recommendation R1 addressed to the "Transports MAUFFREY" transport company

During initial and ongoing driver training, or when new equipment is introduced, insist on mastery of the basic functions of the gearbox and braking systems of the vehicles used.

In the context of occupational road risk prevention, set instructions for reducing exposure to risks when crossing level crossings, based on the information provided on the website :

https://www.securite-routiere.gouv.fr/chaque-situation-sa-conduite/conduire-sur-routes-specifiques/passage-niveau

The BEA-TT invites professional road transport federations and organizations responsible for training professional drivers to share their experience of this accident, and to emphasize the importance of mastering essential functions such as gear shifting and retarder control. They will also be stressing the importance of adopting the right behaviour when approaching and driving over level crossings, i.e. evacuating the tracks, even at low speed, without changing gear and, if necessary, breaking the barriers.

Recommendation R2 addressed to SNCF Réseau

Study the technical and economic feasibility of installing closure sensors on the exit barriers of SAL 4 NPs, which would enable the detection of an immobilized vehicle at the barriers, and the transmission of this information to train drivers via the existing rail signalling system.

Recommendation R3 addressed to SNCF Réseau

Study, depending on the available rights-of-way and the direction of rail traffic, the conditions for lateral separation of the catenary support posts closest to the planking of a level crossing, in order to prevent a road vehicle or its load from becoming stuck after an impact between these posts and the train. If necessary, if this is not possible, study a longitudinal separation of the catenary posts closest to the planking of the LC.

Recommendation R4 addressed to EPSF

Study the opportunity to modify the requirements on rolling stock to reduce the risk of the automatic coupler passing under the train following a particularly violent impact.

In particular, examine the possible addition of a restraining device (chains, cables or other) on the external part of the automatic coupler. Encourage at European level the inclusion of these requirements in the approval documents.

Recommendation R5 addressed to the EPSF

With railway companies and train manufacturers, define a list of safety or comfort equipment for which the power supply must continue after the possible destruction of the automatic coupler following a collision with an obstacle.

Encourage at European level the inclusion in approval documents of requirements for maintaining the power supply on the identified equipment.

The BEA-TT invites SNCF Voyageurs, by approaching video protection equipment manufacturers and train manufacturers, to strengthen the monitoring and maintenance program for recording devices, so that as many devices as possible are functional.

The BEA-TT therefore invites the EPSF to pay all the necessary attention and requirement to the follow-up that will be given by SNCF Voyageurs to its letter of February 2023. It also invites other railway companies and train manufacturers to take up this subject.

Annexe : Décision d'ouverture d'enquête

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

BEATT
Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre

Le Directeur

La Défense, le – 9 MARS 2022

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 de la collision entre un TER et un poids lourd survenue le 24 février 2022 sur le passage à niveau n° 22 à Hochfelden (67) ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-1 et R. 1621-22 du Code des transports concernant la collision entre un TER et un poids lourd survenue le 24 février 2022 sur le passage à niveau n° 22 sur la commune de Hochfelden dans le Bas-Rhin.

Jean-Damien PONCET

Grande Arche – Paroi Sud 92055 – LA DEFENSE CEDEX
Tél. : 01 40 81 21 83 – Mél : bea-tt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

Règlement général de 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 (article 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 :

- par mail 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 :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
À l'attention du directeur du BEA-TT
Grande Arche - Paroi Sud, 29e étage, 92055 LA DEFENSE Cedex

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

- par mail à l'adresse **:** **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 :

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
À 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