

Résumé

Rapport d'Enquête de Sécurité Déraillement d'un train de voyageurs à vide Liège-Guillemins - 11 juillet 2019

TABLE DES VERSIONS DU RESUME

| <u>Numéro de la version</u> | <u>Sujet de révision</u> | <u>Date</u> |
|-----------------------------|--------------------------|-------------|
| 1.0 | Première version | 22/06/2023 |

RÉSUMÉ

Le jeudi 11 juillet 2019, suite à un problème technique à un train de voyageurs de l'entreprise ferroviaire SNCB (déclenchements haute tension sur les locomotives électriques du train), le train est à l'arrêt en gare de Waremme et le débarquement des voyageurs est organisé.

Après avoir tenté en vain de dépanner son train, le conducteur le déclare en détresse.

Une locomotive de type 18 est envoyée comme élément de secours afin de remorquer le train en panne jusqu'à la gare de Liège-Guillemins. Après avoir accouplé la locomotive 18 en tête du train en détresse et après un essai de frein de type A concluant, le train remorqué par la locomotive 18 quitte la gare de Waremme.

Vers 9:48, alors que le train arrive en gare de Liège-Guillemins, les premières voitures du train déraillent sur des aiguillages à l'entrée du grill de la gare. Suite à la rupture de la conduite d'alimentation du système de freins, le train s'immobilise.

Il n'y a pas de victime et les dégâts matériels sont peu importants.

L'Organisme d'Enquête (OE) n'avait pas envisagé d'enquêter sur ce déraillement, qui ne répond pas à la définition d'accident grave ni à celle d'accident significatif.

Cependant, lors d'une réunion où les premiers éléments récoltés par la SNCB et Infrabel ont été présentés, l'OE s'est rendu compte :

- que l'analyse de ce déraillement à faible vitesse à l'entrée de la gare de Liège-Guillemins se révélait plus complexe qu'il n'y paraissait,
- qu'il n'y avait pas de consensus entre les deux parties.

Suite à la qualification de l'accident, les mesures relevées sur site avaient été peu nombreuses et concernaient :

- l'état de la voie,
- le matériel roulant,
- les bandes d'enregistrements du train.

De plus, lorsque les enquêteurs de l'OE sont arrivés sur le site de l'accident, certains éléments liés au matériel roulant (crochet d'attelage, boyaux pneumatiques) avaient été modifiés sans faire l'objet d'un enregistrement ou d'une photo, contrairement à ce qui est précisé à l'article 8 de l'arrêté royal du 16 janvier 2007 fixant certaines règles relatives aux enquêtes sur les accidents et incidents ferroviaires.

L'OE a analysé ces diverses données : elles se sont révélées dans les normes et tolérances, et l'analyse des divers facteurs pris séparément ne pouvait expliquer le déraillement.

Au terme d'un marché public, l'OE a alors désigné la société d'expertise externe Mastéris afin qu'elle réalise une analyse des facteurs et des efforts auxquels a été soumis le train lors de son entrée en gare de Liège-Guillemins, et qu'elle conduise une simulation informatique sur la dynamique du train, afin de mettre en évidence la conjonction de facteurs ayant pu contribuer au déraillement.

Dans un premier livrable, la société Mastéris a établi :

- un scénario reprenant l'ensemble des facteurs contributifs ;
- le calcul des efforts générés.

Toutes les données nécessaires à l'étude de Mastéris, et plus particulièrement pour la simulation avec le logiciel de dynamique ferroviaire, n'étaient pas disponibles. C'est pourquoi, à la demande de l'OE, la société Mastéris a fait varier divers paramètres lors de ses analyses et simulations sur base des éléments mis à sa disposition.

Nonobstant la gravité des conséquences d'un accident, dans le cadre d'un déraillement de train de voyageurs en voie principale, les parties concernées devraient récolter toutes les données utiles concernant l'infrastructure, le matériel roulant et les actes posés par les opérateurs permettant de déterminer les facteurs ayant contribué à la survenance de l'accident. Le relevé de l'ensemble des données sur le site de l'accident aurait permis une simulation plus proche de la situation réelle.

Les résultats de ces simulations sont repris dans le second livrable de Mastéris.

Les livrables délivrés par la société Mastéris sont annexés au [rapport d'enquête](#) et détaillent in extenso les explications et calculs ; ci-après sont résumées les principales approches.

TRACÉ DU TRAJET EMPRUNTÉ PAR LE TRAIN

Le déraillement s'est déroulé à l'entrée de la gare de Liège Guillemins : l'itinéraire emprunté par le train le jour du déraillement n'est pas utilisé fréquemment, il traverse le grill d'entrée de la gare de Liège Guillemins et présente un caractère sinueux. L'existence d'un tracé sinueux se traduit par un déport géométrique entre 2 véhicules attelés, ce qui entraîne une diminution de la surface de contact de deux tampons. C'est ce qui peut conduire à un risque de déraillement.

**La conformité aux règles de la STI "Infrastructure" et à la norme européenne EN13803 de ce tracé a été contrôlée : le trajet ne présente pas de tracé sinueux non conforme.
Le déraillement n'est à priori pas dû au tracé théorique.**

TYPE DE FREINAGE ET EFFORTS GÉNÉRÉS

Le train a parcouru la zone d'aiguillages à l'entrée de la gare de Liège-Guillemins à une vitesse d'environ 30 km/h : cette vitesse faible respecte les prescrits. Cependant, lors de son passage sur ces aiguillages, le conducteur n'a utilisé que le frein rhéostatique (ou frein dynamique) de la locomotive pour ralentir le train. Il s'agit d'un freinage électrique dans lequel, schématiquement, le sens du courant dans le moteur de la locomotive est inversé, induisant un couple résistant dans l'arbre-moteur.

Dans ce mode de freinage, seul l'engin moteur freine. Cela peut entraîner des efforts longitudinaux de compression dans la rame qui se trouve derrière la locomotive.

Une règle interne à la SNCB spécifie :

L'utilisation du frein dynamique sur les locomotives comporte certains dangers liés aux courbes de faible rayon et aux aiguillages pris en voie déviée, où les efforts de compression longitudinaux peuvent conduire à des mariages de butoirs, voire des déraillements.

L'utilisation du frein dynamique seul est interdite dans ces zones lorsque la vitesse maximum autorisée y est égale ou inférieure à 40 km/h.

La zone d'aiguillages à l'entrée de Liège-Guillemins constitue une zone en forte déclivité où sont présentes des courbes et contre-courbes.

Au niveau européen, le paragraphe 4.2.4.4.4 du Règlement 1302/2014 du 18 novembre 2014 concernant une spécification technique d'interopérabilité relative au sous-système "matériel roulant" – "Locomotives et matériel roulant destiné au transport de passagers" du système ferroviaire dans l'Union européenne précise que :

Si une unité est équipée d'un système de freinage dynamique:

1) Il doit être possible, sur les unités électriques, d'interdire l'utilisation d'un système de freinage par récupération, qui renvoie l'énergie récupérée vers la ligne aérienne de contact, lorsque l'unité circule sur une ligne interdisant ce fonctionnement.

2) [...]

3) Quand le freinage dynamique est utilisé sur les locomotives indépendamment d'autres systèmes de freinage, il doit être possible de limiter la valeur maximum et le taux de variation de l'effort de freinage dynamique à des valeurs prédéfinies.

Remarque: cette limitation a trait aux forces transmises à la voie quand la ou les locomotives sont intégrées à un train. Elle peut être appliquée au niveau opérationnel en définissant les valeurs nécessaires à la compatibilité avec une ligne particulière (par exemple une ligne avec une forte déclivité et un faible rayon de courbe).

Au niveau de la réglementation du gestionnaire d'infrastructure Infrabel, le RSEIF 4.2 précise la valeur de l'effort maximum du frein dynamique lorsque l'effort maximum du frein dynamique ainsi que le gradient maximum d'augmentation ou de diminution de l'effort du frein dynamique d'une locomotive ne sont pas gérés automatiquement.

| | Effort maximum du frein dynamique | Effort maximum du frein dynamique utilisé conjointement avec un autre frein |
|--|-----------------------------------|---|
| Une locomotive assure l'effort de traction | 150 kN | 105 kN |
| Plusieurs locomotives accouplées assurent l'effort de traction | 75 kN | 105 kN |

Le système d'enregistrement de bord de la locomotive ne prévoit pas l'enregistrement de l'intensité de ce freinage. Sur base des bandes de vitesse et du profil des voies empruntées par le train, l'intensité du freinage a été calculée par Mastéris. La détermination de cette valeur est importante non seulement pour le calcul des efforts longitudinaux de compression dans la rame, mais également pour la simulation informatique (objet de la seconde partie de l'analyse réalisée par Mastéris).

La valeur déterminée par Mastéris (150kN) correspond à la valeur maximale autorisée par Infrabel dans sa réglementation lorsque la locomotive assure l'effort de traction et que le frein dynamique est utilisé seul.

Considérant le scénario de freinage identifié et la géométrie de la zone de voie où s'est produit le déraillement, Mastéris s'est employé à réaliser une analyse en dynamique longitudinale et à calculer les efforts de compression générés.

Efforts Longitudinaux de Compression

Habituellement et historiquement cette spécialité concerne les trains de marchandises qui sont plus sujets à risques étant donné leur longueur et leur tonnage ainsi que leur hétérogénéité et notamment la présence de wagons vides favorisant ces risques. Les efforts longitudinaux de compression sont générés dans les trains de fret dans diverses configurations de conduite (freinage pneumatique, refoulement, freinage dynamique...) et peuvent dans certains cas dépasser les ELC admissibles des wagons qui composent ce train.

On estime qu'il y a risque de déraillement lorsque, pour un véhicule donné, l'effort longitudinal de compression atteint dépasse la valeur admissible du véhicule. Le déraillement se produit cependant si des caractéristiques défavorables se présentent au moment où l'effort longitudinal de compression maximum est atteint (courbe et contre courbe de faible rayon, chargement du wagon, état de surface des plateaux de tampon...). Les risques de déraillement dû aux efforts longitudinaux de compression ne sont pas étudiés sur les trains de voyageurs pour diverses raisons dont la faible longueur des convois qui conduit à des efforts longitudinaux de compression faibles et la masse des voitures qui induit des efforts longitudinaux de compression admissibles élevés. L'étude de Mastéris est donc une des premières études dans le domaine "Voyageur" qui aborde ce sujet.

Mastéris a extrapolé les valeurs de référence de wagons de marchandises au matériel impliqué dans le déraillement : ces valeurs sont issues des études et normes de l'Union internationale des Chemins de fer.

Cette analyse montre que les efforts longitudinaux de compression calculés (130kN ou 200kN en valeur haute) restent très en deçà de la valeur admissible empirique (504kN), retenue dans le cadre de cette étude .

La simulation numérique du comportement dynamique du véhicule déraillé sur la zone de déraillement réalisée ensuite par Mastéris a pour but d'étudier le soulèvement des roues par rapport au rail qui pourrait causer le déraillement dans la zone d'aiguillages par laquelle est passée le train.

Afin d'étudier le risque de déraillement, deux critères sont utilisés :

- le soulèvement (dz) de la roue extérieure à la courbe de l'essieu de tête de la première voiture du train ;
- le ratio des efforts de contact Y/Q (où Y représente l'effort transversal et Q l'effort vertical) de cette même roue.

Afin de disposer d'un ordre de grandeur pour ces deux critères, des valeurs "limites" ont été tirées de la norme européenne EN14363 :2016+A1 :2018 :

- Pour les essais d'homologation de l'aptitude au franchissement des gauches de voie sans déraillement, la valeur limite du soulèvement de la roue (dz) est 5 mm. Cependant, il faut noter que cela correspond à des conditions bien définies par la norme (rayon de courbe de 150 m, gauche de 7 mm/m).
- Pour les essais d'homologation du comportement en dynamique du train, le ratio des efforts de contact (Y/Q) pour la roue d'attaque doit rester inférieur à 0,8.

Un premier cas est simulé, et il servira de référence et comparaison pour les simulations suivantes qui feront varier divers paramètres : le but est de mettre en évidence les paramètres qui amènent une augmentation du risque de déraillement.

Le second livrable de Mastéris annexé reprend en détail les diverses simulations réalisées : ci-après, le résumé des facteurs ayant une influence sur le risque de déraillement.

ADHÉRENCE ET LE COEFFICIENT DE FROTTEMENT DE CONTACT ROUE-RAIL

L'adhérence rail-roue est la base de la traction et du freinage. La puissance de traction et de freinage est transmise par les roues sur le rail. En conséquence, le coefficient d'adhérence a une influence sur l'accélération et le freinage.

Le coefficient d'adhérence varie avec la température du rail ainsi qu'avec la présence sur le rail de corps sur le rail tel que la pluie, l'humidité ambiante, huiles, graisses, ...

Les divers paramètres pour établir le coefficient d'adhérence n'ont été relevés ni par l'entreprise ferroviaire, ni par le gestionnaire d'infrastructure.

L'étude de Mastéris a donc fait varier le coefficient de frottement lors de simulations : cela permet d'encadrer la valeur réelle qui est inconnue. Les résultats montrent une influence du coefficient de frottement du contact roue-rail sur le risque de déraillement : un rail sec augmente le risque de déraillement.

Avec une voie parfaite (sans défauts, sans usure...) et un train nominal (sans déformation, masses équilibrées...), la zone de déraillement est sensible mais les critères de déraillement sont toujours inférieurs aux valeurs limites quel que soit l'état de surface du contact roue-rail.

TRACÉ DE LA VOIE

Bien que le tracé sinueux soit conforme aux règles de l'Union internationale des Chemins de fer, la simulation informatique a permis de vérifier le comportement du train sur la zone où s'est produit le déraillement. Cette zone est caractérisée par un enchaînement d'une courbe à gauche et d'une courbe à droite avec un alignement de 8,1m.

Cet enchaînement amène une localisation du ratio maximal des efforts de contact (Y/Q) en entrée de courbe, correspondant à la zone de déraillement.

La simulation réalisée avec un profil de rail neuf et un effort de freinage minimal (15kN) montre que le ratio des efforts de contact (Y/Q) est sensible aux caractéristiques de tracé de la zone où s'est produit le déraillement, sans toutefois dépasser la valeur limite (0,8).

APPLICATION D'UN EFFORT DE FREINAGE

Dans la première partie de son étude, Mastéris a calculé la valeur maximale de l'effort de freinage dynamique de la locomotive, cette valeur n'étant pas enregistrée à bord du matériel roulant.

Le résultat de ce calcul avait donné une valeur de 150kN.

Lors des simulations de la seconde phase de l'étude de Mastéris, deux cas ont été comparés, dans des conditions de profils de rail neufs et profils de roue neufs:

- application d'un effort de freinage de 15kN
- application d'un effort de freinage de 150kN

Dans des conditions de profils neufs tant pour les rails que pour les roues, l'application d'un effort de freinage de 150kN conduit à augmenter le ratio des efforts de contact Y/Q de 12% (par rapport à l'application d'un effort de freinage de 15kN), le faisant passer de 0,67 à 0,75. Il reste inférieur à 0,8 mais cet effort de freinage de 150kN a donc un effet notable sur le ratio des efforts de contact.

PROFIL DE RAIL

Les rails sont sujets à une usure verticale (peu fréquente) et à une usure latérale (beaucoup plus fréquente).

L'usure est fonction du trafic c'est-à-dire du tonnage, du nombre et de la vitesse des trains.

L'usure latérale se manifeste surtout sur le rail extérieur.

Les résultats de la simulation montrent que, indépendamment de l'effort de freinage, l'influence d'un profil de rail usé est notable sur le risque de déraillement.

ÉCARTEMENT DES RAILS AVEC EFFORT DE FREINAGE

L'écartement des rails est la distance séparant le flanc internes des deux fils de rails d'une voie ferrée.

L'écartement standard est de 1435 mm qui correspond à l'écartement standard de l'Union internationale des Chemins de fer.

Les mesures d'écartement n'étaient pas disponibles sur toute la section impliquée dans le déraillement : les valeurs d'écartement ont été déterminées par Mastéris à partir de dessins de profils fournis et retracés sur un logiciel de conception assistée par ordinateur.

Sur l'entrée de la zone où s'est produit le déraillement, les valeurs d'écartement varient entre 1452 et 1461mm (la valeur nominale pour cette zone est de 1448mm).

Trois valeurs ont été retenues pour la simulation : 1452, 1455 et 1458mm.

Avec un effort de freinage de 150kN, l'augmentation de l'écartement de voie (de 1448 à 1458mm) amène une augmentation du ratio des efforts de contact (Y/Q) de 18% : celui-ci passe de 0.75 à 0.89. La valeur limite pour ce ratio (0,8) est donc dépassée.

Cette augmentation est notamment due à la diminution de l'effort vertical d'environ 16% (délestage supplémentaire de la roue d'attaque).

L'influence de l'écartement de la voie sur le ratio des efforts de contact (Y/Q) est négligeable dès lors que l'effort de freinage n'est pas appliqué.

L'augmentation de l'écartement de la voie contribue à augmenter notablement le risque de déraillement quand celui-ci est combiné à un effort de freinage de 150kN.

DÉFAUT DE GAUCHE DE BOGIE ET/OU DE VOIE

Il est connu qu'un gauche lié à un défaut de voie et/ou à la déformation du bogie augmente le risque de déraillement :

- La valeur de gauche la plus élevée enregistrée par le gestionnaire d'infrastructure est de 2,15mm/m à 13,54m de la pointe de l'appareil de voie ;
- En l'absence de données réelles disponibles pour préciser la valeur de gauche du bogie, la simulation réalisée par Mastéris ajoute une cale de 20 mm au niveau de la suspension primaire de la première roue extérieure gauche, afin de modéliser ces défauts de gauche dans le cadre d'une étude paramétrique.
- Cela est équivalent à un gauche total (voie + bogie) de 7,8 mm/m.

La simulation, avec une valeur de freinage de 150kN (soit la valeur maximale calculée), permet la comparaison des comportements entre un gauche avec un profil de rail usé et un gauche avec un profil de rail neuf.

Les résultats obtenus montrent bien qu'un défaut de gauche, couplé à un freinage de 150kN, augmente le risque de déraillement :

- avec un rail neuf et sans autres défauts de voie (dressage, nivellement), les valeurs des deux critères (soulèvement de la roue et ratio des efforts de contact) sont toujours inférieures aux valeurs limites ;
- en combinant ce même défaut de gauche avec un rail usé, un déraillement pourrait avoir lieu (le soulèvement de la roue dépasse la valeur limite (5 mm)).

CONCLUSION

Une première simulation avec les paramètres nominaux (rail neuf, voie parfaite sans défaut, caractéristiques du train au nominal) a montré que la zone de déraillement est une zone sensible vis-à-vis de deux critères de déraillement :

- le soulèvement de roue (dz)
- le ratio des efforts de contact roue-rail (Y/Q).

Les études paramétriques réalisées ont permis de tirer des conclusions, dont les suivantes :

- L'entrée de la zone 14AE, zone identifiée comme étant là où le déraillement s'est déroulé, est bien la zone la plus critique sur le parcours, et ce y compris avec une voie sans défaut, un train nominal et un effort de freinage rhéostatique faible par la locomotive de tête.
- Un rail sec augmente le risque de déraillement.
- Le profil du rail a un impact sur le risque de déraillement, qu'il soit ou non combiné à un effort de freinage.
- L'augmentation de l'écartement de la voie contribue à augmenter notablement le risque de déraillement quand celui-ci est combiné à un effort de freinage rhéostatique élevé par la locomotive de tête.
- Les défauts de gauche liés à la déformation du bogie et/ou de la voie, cumulés avec l'usure de rail et un effort de freinage rhéostatique élevé par la locomotive de tête peuvent faire dérailler le train dans la zone étudiée.

L'étude réalisée par Mastéris montre que la zone où le train a déraillé est particulièrement sensible en comparaison à la zone d'aiguillage précédente et que le cumul de divers facteurs d'influence (effort de freinage dynamique, écartement de voie supérieur à la valeur nominale, défaut de gauche, profil de rail usé, coefficient de frottement) est de nature à atteindre ou dépasser les critères de déraillement.



Organisme d'Enquête sur les Accidents et Incidents Ferroviaires
<http://www.oeaif.be>

