



MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DES INFRASTRUCTURES
Département des transports

Administration des enquêtes techniques

RAPPORT D'ETAPE

Collision ferroviaire du 14 février 2017 à Dudelange

Publication : 19 février 2018

ADMINISTRATION DES ENQUETES TECHNIQUES

AVIATION CIVILE – CHEMINS DE FER – MARITIME – FLUVIAL – ROUTE



Ministère du Développement durable et des Infrastructures

Département des transports

Administration des enquêtes techniques

Rapport N° AET/CF-2018/01

Rapport d'étape

Collision ferroviaire du 14 février 2017 à Dudelange

Administration des enquêtes techniques (AET)

B.P. 1388 L-1013 Luxembourg

Tel: +352 247-74408

Fax: +352 247-94404

Email: info@aet.etat.lu

Web: www.aet.public.lu

AVERTISSEMENT

Conformément à la loi modifiée du 30 avril 2008 sur les enquêtes techniques relatives aux accidents et aux incidents graves survenus dans les domaines de l'aviation civile, des transports maritimes, du chemin de fer et de la circulation routière, au règlement grand-ducal du 7 novembre 2008 portant des spécifications complémentaires relatives aux accidents et incidents survenus dans le domaine du chemin de fer et à la Directive 2016/798 de la Commission Européenne concernant la sécurité ferroviaire, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives.

L'unique objectif de l'enquête de sécurité et du rapport d'enquête est de tirer de l'évènement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.

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

Le présent document est la version d'étape du rapport d'enquête.

SOMMAIRE

GLOSSAIRE	5
RÉSUMÉ	6
1 Données de l'accident	7
1.1 Déroulement de l'accident	7
1.2 Enquête de sécurité.....	8
1.3 Lieu de l'accident	9
1.4 Pertes humaines, personnes blessées	9
1.5 Dommages matériels.....	10
1.6 Conditions météorologiques	11
1.7 Les itinéraires	11
1.8 Derniers signaux rencontrés par les deux trains avant la collision	11
1.9 Itinéraires (TER 88807 et TM 49800).....	12
1.10 Extrait du logiciel d'information du trafic ferroviaire ARAMIS.....	13
1.11 Matériel roulant	13
1.11.1 Train de marchandises 49800	13
1.11.2 Train express régional 88807	13
1.12 Les conducteurs de trains	14
1.12.1 Le conducteur du train de marchandises 49800	14
1.12.2 Le conducteur du TER 88807.....	14
1.13 Autorité nationale de sécurité	14
1.14 Infrastructure ferroviaire	14
1.14.1 Données de l'infrastructure ferroviaire.....	15
1.14.2 Section Bettembourg - frontière.....	16
1.15 Postes de desserte	16
1.16 Moyens de communication.....	17
1.17 Visite des lieux.....	17
2 Système Memor II+	18
2.1 Historique.....	18
2.2 Mode de fonctionnement	18
2.2.1 Équipement au sol	19
2.2.2 Équipement de bord	20
2.3 Conduite sous Memor II+ (SFP fermé).....	22
3 Données des enregistreurs d'évènements	24
3.1 Enregistreur d'évènements du TER 88807	24
3.2 Enregistreur d'évènements du train de marchandises 49800.....	26
3.3 Représentation des itinéraires.....	27
3.4 Analyse des impulsions Memor II+ au SFAv Adm	28

4	Faits établis	29
5	Recommandations immédiates	30
6	Mesures préventives et correctives	31
7	Investigations en cours.....	32
	ANNEXE - Composition des trains 49800 et 88807	33

GLOSSAIRE

ACF	Administration des chemins de fer
AET	Administration des enquêtes techniques
ARAMIS	Advanced rail automation management and information system
ATESS	Acquisition et traitement des événements de sécurité en statique
BAL	Block automatique lumineux ordinaire
BP-OE	Bouton poussoir inhibition Memor II+
BP-Vigilance	Bouton poussoir vigilance
CFL	Société nationale des chemins de fer luxembourgeois
CG	Conduite générale de frein
CIN	Centre d'intervention national
EF	Entreprise ferroviaire
ETCS	Système européen de contrôle des trains (european train control system)
GSM-R	Global system for mobile communications – Railways
IPCS	Installations permanentes de contresens
LS	Lampe de signalisation
LS-SF	Lampe de signalisation signal fermé
LS-DF	Lampe de signalisation défaut Memor II+
Memor II+	Système réunissant les fonctionnalités de répétition des signaux et d'aide à la conduite, utilisé pour la protection des points dangereux et le respect des ralentissements temporaires sur le réseau ferré national
PDC	Poste Directeur Centre de Bettembourg
PDT	Poste Directeur du Triage de Bettembourg
p.k.	Point kilométrique
IPCS	Installations permanentes de contresens
RGE	Règlement générale d'exploitation
Réseau ferré national	Infrastructure ferroviaire publique établie sur le territoire du Grand-Duché, telle qu'elle est définie dans la loi relative à la gestion de l'infrastructure ferroviaire à l'exception du réseau ferré tertiaire
RST	Système de communication radio sol-train
RSS	Régulateur sous-stations
RPS	Répétition des signaux
SNCF	Société nationale des chemins de fer français
SNCB	Société nationale des chemins de fer belges
Sibelit S.A.	Société de l'Itinéraire Benelux-Lorraine-Italie S.A.
SFAv	Signal fixe avancé
SFAv1	Signal fixe avancé en position d'avertissement
SFAv2	Signal fixe avancé en position d'annonce à distance de voie libre
SFAv3	Signal fixe avancé en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse
SFAVI	Signal fixe annonciateur de vitesse-infrastructure pour une réduction de vitesse ≥ 40 km/h
SFP	Signal fixe principal
SFP1	Signal fixe principal en position d'arrêt
SFP2	Signal fixe principal en position de voie libre
SFP3	Signal fixe principal en position de voie libre avec limitation de la vitesse
SMR/A	Signal mobile annonciateur de ralentissements temporaires
TCO	Tableau de commande optique
TER	Train express régional
TER2N-ng	Train express régional à deux niveaux de nouvelle génération (série 2200 CFL)
TM	Train de marchandises
UM	Unité multiple
VdL	Ville de Luxembourg
Z-Memor	Commutateur d'inhibition de l'équipement Memor II+

RÉSUMÉ

Le 14 février 2017, en début de matinée, un train express régional (TER) et un train de marchandises entrent en collision frontale à hauteur d'une aiguille au p.k. 1,481 du secteur « Bettembourg - Daereboesch ». Le conducteur du TER est tué sur le coup et l'accompagnateur de train est légèrement blessé. Le conducteur du train de marchandises est grièvement blessé. Les dommages à l'infrastructure et aux matériels roulants sont importants.

Deux facteurs majeurs ayant mené à la collision ont, à ce stade de l'enquête, pu être déterminés. Le premier est le facteur humain et le deuxième est de nature technique et se situe au niveau du système d'aide à la conduite.

Suite à cet évènement, des mesures préventives et correctives ont été prises par le gestionnaire de l'infrastructure, les entreprises ferroviaires ainsi que par l'Administration des chemins de fer (ACF) afin d'éviter qu'un tel accident ne se reproduise.

En avril et en mai 2017, compte tenu des premiers éléments recueillis, il apparaît nécessaire à l'Administration des enquêtes techniques (AET) d'émettre, sans attendre la conclusion de l'enquête de sécurité et conformément à l'alinéa 2 de l'article 9 de la loi modifiée du 30 avril 2008 portant création de l'Administration des enquêtes techniques, une première série de recommandations de sécurité visant à prévenir la répétition d'évènements similaires.

Dans ce cadre, quatre recommandations de sécurité ont été émises :

- deux concernent le système Memor II+ ;
- une concerne la sensibilisation des conducteurs de train à notifier toute irrégularité ;
- une concerne la surveillance du réseau ferré national.

Ce document est le rapport d'étape rédigé par l'AET. Il contient principalement les informations factuelles de l'accident. L'enquête de sécurité n'est à ce jour pas achevée.

1 Données de l'accident

1.1 Déroutement de l'accident

Le mardi 14 février 2017 à 08h29, le TER 88807 reliant quotidiennement Luxembourg-Ville à Thionville (France) quitte la Gare de Luxembourg avec un retard de 2 minutes. Il effectue vers 8h42, conformément à son horaire, un arrêt commercial à Bettembourg pour ensuite continuer son trajet vers la frontière française. Ce jour-là, tous les voyageurs descendent du train en gare de Bettembourg.

Le train de marchandises 49800 part à 08h31 de Thionville en direction de Bettembourg avec un retard de 52 minutes. L'itinéraire du convoi prévoyait l'acheminement de 27 wagons vides de Strasbourg (France) vers La Louvière (Belgique). Le convoi arriva la veille à Thionville où il effectua un arrêt de quelques heures avant de repartir le lendemain en direction du Luxembourg.

À 08h44 le TER passe le signal fixe avancé (SFAv) Adm (p.k. 3,071) en position d'avertissement avec une vitesse d'environ 123 km/h, sans réduire sa vitesse en aval de ce signal à 60 km/h conformément à la réglementation. Environ 100 m en amont du signal fixe principal (SFP) Dm (p.k. 1,849), le conducteur de train engage un freinage.

Le TER, passe le dernier signal fixe principal (Dm) en position d'arrêt avec une vitesse de 131 km/h.

Le train de marchandises franchit en amont de la frontière, le signal fixe avancé Aam au p.k. 203,596 en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse (60 km/h). Il passe le signal fixe principal Am (p.k. 1,169) en position de voie libre avec limitation de la vitesse (60 km/h) avec une vitesse adaptée. Le conducteur de train voit le TER se diriger vers lui à une vitesse trop élevée pour pouvoir s'arrêter à temps. Il court vers la partie arrière de la locomotive pour se mettre à l'abri. Quelques secondes plus tard à 08h45m35s, les deux trains entrent en collision frontale à hauteur d'une aiguille au p.k. 1,481. L'impact est violent, le conducteur du TER est tué sur le coup. Le conducteur du train de marchandises ainsi que l'accompagnateur du TER sont blessés.

Lors de l'impact, les vitesses indiquées par les enregistreurs d'évènements sont de 85 km/h pour le TER et de 41 km/h pour le train de marchandises.



source : Service d'incendie et d'Ambulances VdL

L'impact est tel que la locomotive de tête du train de marchandises s'encastre presque entièrement dans la première caisse de l'automotrice. La deuxième locomotive ainsi que les 5 premiers wagons du train de marchandises sont fortement avariés, les 6 suivants légèrement. L'onde de choc est telle que l'enveloppe extérieure des deux dernières caisses de l'automotrice est déformée sur toute sa longueur.

Au poste directeur centre de Bettembourg (PDC) les agents se rendent compte immédiatement après l'impact qu'un incident s'est produit. Le tableau de commande optique (TCO) indique au chef de circulation qu'un aiguillage a été talonné. Au même moment, il reçoit un appel téléphonique de la part du régulateur sous-stations (RSS), l'informant qu'il n'y a plus de courant sur le tronçon et que les agents ne peuvent pas le rétablir.

Il est à noter que l'automotrice de type TER2N-ng ainsi que la locomotive de type T13/3000 roulaient avec le système d'aide à la conduite en fonction.

1.2 Enquête de sécurité

Conformément à la loi modifiée du 30 avril 2008 portant création de l'AET et au règlement grand-ducal du 7 novembre 2008 portant des spécifications complémentaires relatives aux accidents et incidents survenus dans le domaine du chemin de fer, l'AET, comme entité d'enquête indépendante luxembourgeoise, est responsable de la conduite de l'enquête de sécurité, étant donné que l'accident a eu lieu sur le réseau ferré national. Les enquêteurs disposent dans le cadre de leurs missions des droits énumérés à l'alinéa 4 de l'article 7 de cette même loi.

La notification de l'évènement par le centre d'intervention national (CIN) a été reçue quelques minutes après la collision. Deux enquêteurs sont arrivés sur le site de l'accident vers 10h30.

En fin de journée, un expert externe venu de l'étranger a prêté assistance aux enquêteurs de l'AET.

L'enquête de sécurité est menée en toute indépendance dans le respect du secret de l'instruction judiciaire. La collecte des données et informations relatives à l'accident a été coordonnée avec les autorités judiciaires. Les analyses et les constatations sont réalisées par l'AET en toute indépendance et dans le seul but d'éviter qu'un tel accident ne se reproduise.

1.3 Lieu de l'accident

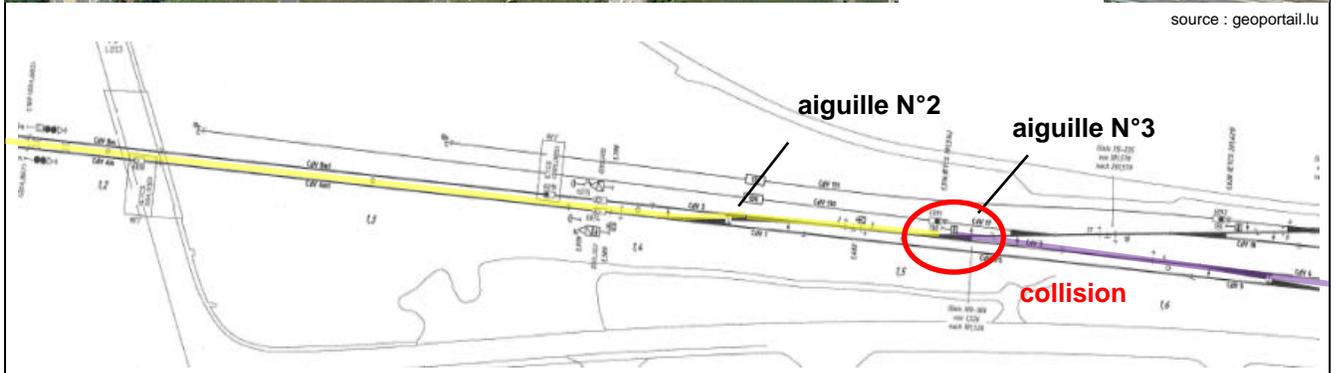
La collision a eu lieu au Sud du Luxembourg, à Dudelange, à hauteur de l'aiguille 3 du secteur « Bettembourg - Daereboesch », environ 1,5 km en amont de la frontière française.



Les secours ont pu accéder facilement de la route (CR161) au lieu de l'accident en empruntant un chemin pour piétons.



source : geoportail.lu



source : CFL

1.4 Pertes humaines, personnes blessées

		tué(s)	blessé(s)	indemne(s)
TM 49800	personnel	0	1	0
	voyageurs	0	0	0
TER 88807	personnel	1	1	0
	voyageurs	0	0	0

Le conducteur du train de marchandises a été grièvement blessé. En voulant accéder au deuxième poste de conduite de la locomotive de tête, il a été projeté au sol au moment de l'impact. Il a été blessé à la tête et à la jambe droite.

Le conducteur du TER a été tué sur le coup. Il est à noter que les analyses toxicologiques et les examens pathologiques n'ont rien révélé d'anormal. Aucun signe d'une éventuelle incapacité avant l'impact n'a été noté.

L'accompagnateur de train a été légèrement blessé. Il a été projeté au sol lors de l'impact.

Il n'y a pas eu d'autres personnes impliquées dans l'accident, ni dans les deux trains, ni sur les voies.

1.5 Dommages matériels

Les dommages ont été importants, au vu des vitesses et masses relativement élevées des deux trains. Une bonne partie de l'énergie libérée lors de l'impact, a été absorbée par la locomotive de tête du train de marchandises et la première caisse de l'automotrice.

La locomotive de tête du train de marchandises a été complètement détruite. Lors de l'impact, la locomotive s'est soulevée pour venir s'encastrer sur le châssis de la première caisse de l'automotrice. Le poste de conduite de l'automotrice a littéralement été emporté par la locomotive.

Le reste du matériel roulant du train de marchandises a été avarié à différents degrés, étant donné que les wagons ont tamponné successivement les uns dans les autres. La deuxième locomotive ainsi que les 5 premiers wagons ont été fortement avariés, les 6 suivants légèrement.



source : Service d'incendie et d'Ambulances VdL

La première caisse de l'automotrice a été complètement détruite, l'enveloppe extérieure de l'automotrice n'offrant que peu de résistance. La structure intermédiaire et supérieure a été compressée environ jusqu'à hauteur de la porte arrière. Approximativement 18 mètres de la structure avant de l'automotrice ont été emportés par la locomotive. La brosse de contact ainsi que le câblage du système Memor II+ ont été fortement endommagés lors de l'impact. La caisse intermédiaire ainsi que la caisse de queue n'ont ni déraillé ni eu de grandes déformations, cependant elles ont été fortement avariées. L'onde de choc s'est propagée à travers toute la structure des caisses, les déformant ainsi.



D'importants dégâts ont également été causés à l'infrastructure. Quasiment tous les composants se trouvant dans la zone d'impact ont fait l'objet d'un remplacement. Les caténaires, les rails, les aiguillages, la signalisation ainsi que les équipements de contrôle-commande et de télécommunication ont dû être remplacés.

1.6 Conditions météorologiques

La situation météorologique au 14 février 2017 entre 8h et 9h dans la région de Bettembourg était la suivante :

- pas de précipitations ;
- ciel clair ;
- très bonne visibilité ;
- vent faible ;
- température entre -1°C et +1°C.

1.7 Les itinéraires

L'itinéraire du train de marchandises 49800 était correctement établi¹. La décision avait été prise par le chef de circulation de donner la priorité au train de marchandises. Il devait emprunter la voie appelée « 2 SNCF », puis la voie 100 et la voie 300 pour entrer dans la Gare de triage de Bettembourg.

L'itinéraire du TER 88807 prévoyait le trajet entre Luxembourg-Ville et Thionville en passant par Bettembourg. A hauteur du centre de triage de Bettembourg, il était prévu qu'il emprunte la voie 02 pour ensuite, après son arrêt et le passage du train de marchandise 49800, utiliser la voie de pleine ligne appelée « 1 SNCF » en direction de la frontière.

Aucune irrégularité à l'infrastructure (voies, aiguilles, circuits de voie, signaux, etc.) n'a été reportée au chef de circulation. Il est à noter que toute irrégularité aurait automatiquement rendu l'établissement de ces itinéraires impossible.

De plus, aucun ordre écrit n'a été établi le jour de l'accident autorisant, le cas échéant, un franchissement d'un signal fermé.

1.8 Derniers signaux rencontrés par les deux trains avant la collision

Les deux derniers signaux rencontrés par les 2 trains avant la collision ont été déterminants pour le déroulement de l'accident.

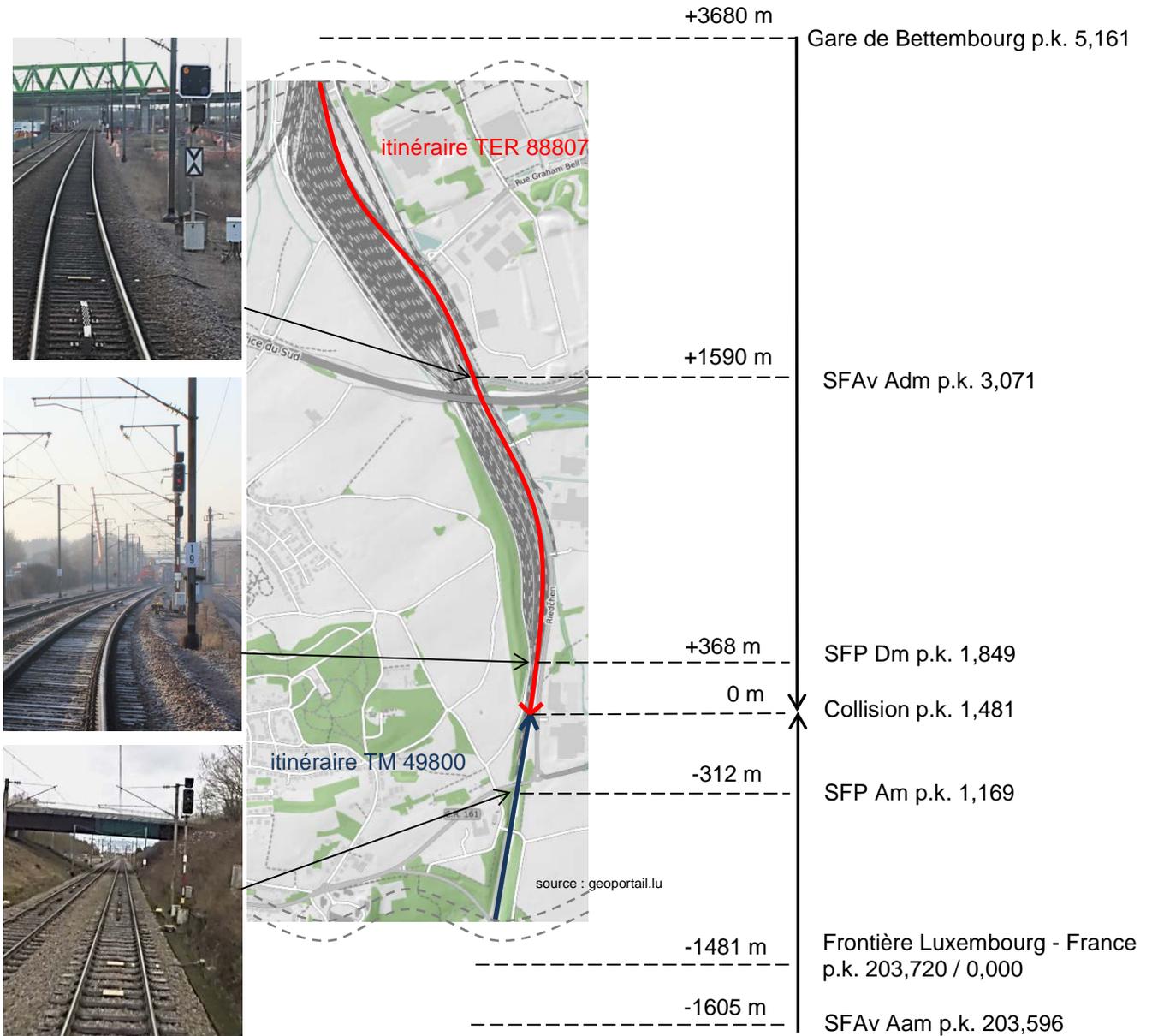
Le TER 88807 passe d'abord le signal fixe avancé Adm (SFAv Adm), précédé de 3 mirlitons, 1590 m en amont du lieu d'impact, puis le signal fixe principal Dm (SFP Dm) 368 m en amont du lieu d'impact.

Le train de marchandises 49800 passe d'abord le signal fixe avancé Aam (SFAv Aam) situé sur le réseau ferré français, précédé de 3 mirlitons, 1605 m en amont du lieu d'impact, puis le signal fixe principal Am (SFP Am) 312 m en amont du lieu d'impact.

Il est à noter que les signaux fixes avancés informent les conducteurs de train sur la position des signaux fixes principaux correspondants qu'ils vont rencontrer, afin qu'ils puissent anticiper et adapter la conduite en conséquence et le cas échéant s'arrêter à temps devant le signal fixe principal en position d'arrêt.

¹ Un itinéraire est dit établi lorsque d'une part il est formé, c'est-à-dire que tous les appareils de voie sont correctement disposés et enclenchés et que, d'autre part, la commande d'ouverture du signal origine de l'itinéraire est lancée.

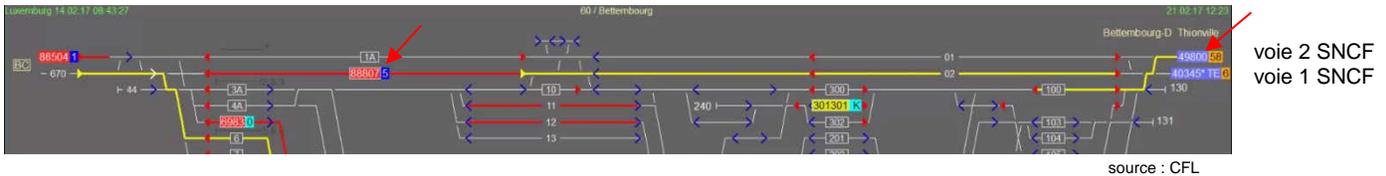
1.9 Itinéraires (TER 88807 et TM 49800)



Il est à noter qu'en ce qui concerne l'itinéraire du TER, une courbe à droite limite légèrement le champ de vision, entre le SFAv Adm et SFP Dm. Le SFP Dm est visible sur une distance de plus de cent mètres.

Pour le train de marchandises, la vue n'est pas limitée, étant donné que la voie se situe dans une ligne droite.

1.10 Extrait du logiciel d'information du trafic ferroviaire ARAMIS



L'extrait ci-dessus montre la position (flèche rouge) ainsi que les itinéraires établis (trait jaune) des deux trains. Il est à noter que le logiciel ne sert pas à gérer le trafic, il représente uniquement l'état actuel de la partie du réseau et n'a pas d'influence sur la gestion du trafic ferroviaire.

1.11 Matériel roulant

1.11.1 Train de marchandises 49800

Le train de marchandises était composé de 2 locomotives électriques de type T13/3000, appartenant à l'entreprise ferroviaire SNCB, accouplées en unité multiple (UM) et de 27 wagons vides. La liste du matériel roulant impliqué dans l'accident peut être consultée à l'annexe 1. L'itinéraire prévoyait l'acheminement des wagons de Strasbourg vers La Louvière pour le compte de la société Sibelit S.A. (Société de l'Itinéraire Benelux-Lorraine-Italie S.A.). Le jour de l'accident, il était prévu que le convoi parte à 7h39 de Thionville en direction de Bettembourg puis Luxembourg et Pétange. Le convoi circulait sous le certificat de sécurité de CFL Cargo.

1.11.2 Train express régional 88807

Le TER, opéré par les EF CFL (sous le certificat de sécurité de l'EF CFL), était composé d'une automotrice électrique tri-caisses de série 2200 (type TER2N-ng). L'itinéraire du train prévoyait le départ à Luxembourg (8h27), suivi d'un arrêt commercial à Bettembourg et à Hettange-Grande avec une arrivée finale à Thionville (8h55). Ce train circulait entre le Luxembourg et la France du lundi au vendredi et était utilisé principalement par les travailleurs transfrontaliers. Au moment de l'accident, il n'y avait plus aucun voyageur dans le train.

	locomotive série T13/3000	automotrice série 2200 (type TER2N-ng)
numéro	1309 / 1330	2211-Z5/ Z3/ Z1
constructeur	Alstom	Alstom
nombre d'essieux	4	12
longueur hors tout	19,110 mm	81,100 mm
largeur hors tout	3.026 mm	2.806 mm
poids	90 t	193 t
série	T13/3000	2200
année de construction	1999-2000	2006
puissance	5.000 kW	2.340 kW
tension nominale	25 kV, 50 Hz et 3 kV CC	25 kV, 50 Hz et 1,5 kV CC
vitesse maximale	200 km/h	160 km/h
places assises	/	339

source : CFL

1.12 Les conducteurs de trains

1.12.1 Le conducteur du train de marchandises 49800

Le conducteur était âgé de 38 ans. De nationalité française, il était employé par la SNCF. Il a commencé sa carrière de conducteur de train en 2000 auprès de la SNCF.

Il était détenteur d'une licence de conducteur de train en règle, formé et habilité à conduire sur le réseau ferré national avec le matériel roulant : BB27000, BB37000 et T13/3000.

Le jour de l'accident était son premier jour de travail après plus d'une semaine de repos. La prise de service s'est effectuée à Thionville à 06h55. Il effectuait régulièrement ce trajet.

1.12.2 Le conducteur du TER 88807

Le conducteur était âgé de 43 ans. De nationalité luxembourgeoise, il était employé par les CFL. Il avait commencé sa carrière de conducteur de train en 2003 auprès des CFL.

Il était détenteur d'une licence de conducteur de train en règle, formé et habilité à conduire sur le réseau ferré national avec le matériel roulant : 2200 et T13/3000. Toutefois l'attestation d'aptitude physique comportait l'obligation de porter des verres correcteurs afin de garantir l'acuité visuelle requise.

Le jour de l'accident était son premier jour de travail après deux jours de repos. La prise de service s'est effectuée à 7h59 à Luxembourg-Ville. La conduite du TER 88807 était sa première prestation de la journée. Il effectuait régulièrement ce trajet.

1.13 Autorité nationale de sécurité

L'Administration des chemins de fer (ACF), créée en 2009, est l'autorité nationale de sécurité dans le domaine des chemins de fer au Grand-Duché de Luxembourg.

Son domaine de compétence englobe trois secteurs :

- l'interopérabilité des systèmes ferroviaires;
- la sécurité ferroviaire;
- l'organisme indépendant de répartition des sillons et de tarification de l'infrastructure ferroviaire.

1.14 Infrastructure ferroviaire

L'infrastructure ferroviaire luxembourgeoise est gérée par les CFL pour le compte de l'Etat luxembourgeois conformément à la loi modifiée du 10 mai 1995 relative à la gestion de l'infrastructure ferroviaire et au contrat de gestion de l'infrastructure signé le 7 mai 2009 (Règlement grand-ducal du 6 novembre 2009). Les CFL, en qualité de gestionnaire de l'infrastructure, sont entre autres chargées de la maintenance ainsi que de la régulation du trafic.

1.14.1 Données de l'infrastructure ferroviaire

paramètres	données, valeurs
distance	
Luxembourg – Bettembourg – frontière	16,6 km
tracé	
nombre de voies en pleine ligne	double voie
vitesse-limite de la ligne et de ses tronçons	entre 60 et 140 km/h
déclivité maximale	21 ‰
écartement voie	1435 mm (écartement standard)
rayon de courbe minimal	Luxembourg – Bettembourg : 491,000 m
	Bettembourg – Bettembourg-front. : 764,900 m
exploitation	
gestionnaire d'infrastructure	CFL
périodes d'ouverture	7j/7j, 24h/24h
réglementation à respecter	Règlement Général de l'Exploitation technique (RGE)
type d'exploitation	double voie banalisée
sens normal de circulation	à droite
système d'information du trafic - Régulation	néant
système de localisation des véhicules	néant
signalisation et sécurité	
signalisation	signalisation au sol suivant RGE Livre 2
système de commande automatique d'arrêt et système de contrôle de vitesse	ETCS L1 (MEMOR II+ jusqu'au 31.12.19)
installations de sécurité	commandes et contrôles électroniques et électriques
télécommunications	
radio sol/train	UIC 751-3
voie – postes directeurs responsables	circuit téléphonique de la voie, postes installés à intervalles réguliers le long des voies
voie – régulateur sous-stations (alimentation caténares)	circuit d'alarme, postes installés à intervalles réguliers le long des voies
énergie de traction	
système	caténaire alimentée en courant alternatif 2 x 25 kV à 50 Hz
type caténaire	type 85 SNCF

source : document de référence du réseau 2018-ACF

1.14.2 Section Bettembourg - frontière

En ce qui concerne l'itinéraire du TER, la vitesse maximale autorisée dans le sens Bettembourg - frontière est de 140 km/h. Pour l'itinéraire du train de marchandises la vitesse maximale autorisée est de 140 km/h jusqu'à l'aiguille 1 pour ensuite passer à 60 km/h.

Les deux voies sont « banalisées », c'est-à-dire qu'elles sont équipées :

- d'installations complètes de signalisation et de sécurité permettant la circulation dans le sens opposé au sens de circulation normal ;
- de blocks de section pour voie unique ou du système dit « itinéraire enclenché ».

Afin de garantir la sécurité, le principe d'espacement par la distance, consistant à n'admettre dans un tronçon de ligne qu'un seul train, est appliqué au Luxembourg. Ces tronçons de ligne sont appelés « sections de block ».

L'entrée des trains dans les sections de block ainsi que leur sortie de ces sections sont réglées par des signaux fixes principaux placés à l'origine et à la fin des sections de block (signaux de block) et permettant de commander soit l'arrêt soit la voie libre (avec ou sans réduction de la vitesse).

Le contrôle de l'occupation des voies de pleine ligne entre Bettembourg et Thionville est réalisé par des circuits de voie.

L'espacement des trains en Gare de Bettembourg sur la voie 01 et 02 est réalisé par le système de block automatique à voie unique. Pour les voies de la pleine ligne de la section frontalière entre Bettembourg et Thionville, l'espacement est réalisé par le système SNCF du block automatique lumineux ordinaire (BAL) équipé d'installations permanentes de contresens (IPCS). Entre les postes de desserte PDC et PDT, l'espacement est réalisé par le système de block automatique à voie unique. Une dépendance matérielle est réalisée entre ces postes de desserte par l'aménagement de jeux d'assentiment.

Le système de sécurité ETCS est installé sur le réseau ferré entre Luxembourg et Uckange. Cependant le matériel roulant des CFL malgré qu'il soit équipé de ce système, n'était pas encore autorisé par l'établissement public de sécurité ferroviaire français (EPSF) à utiliser ce système sur le réseau ferré français.

1.15 Postes de desserte

Les postes directeurs PDC et PDT sont des postes de signalisation tout-relais de type Siemens « DrS ».

Le poste directeur centre de Bettembourg (PDC) est chargé de contrôler la circulation de tous les trains sur le tronçon Bettembourg - frontière. Les chefs de circulation du PDC ont la responsabilité de décider si et quand les itinéraires doivent être enclenchés. L'itinéraire du TER prévoyait un arrêt à Bettembourg puis un passage sur la voie 02, et ensuite sur la voie « 1 SNCF » jusqu'à la frontière.

Celui du train de marchandises prévoyait le passage du train de la voie « 2 SNCF » vers la voie 300 en passant par les aiguilles 1, 2 et 3 et ensuite par la voie 100. Le poste directeur triage de Bettembourg (PDT) est chargé de contrôler la circulation de tous les trains dans la Gare de triage de Bettembourg incluant les voies 100 et 300. L'entrée depuis Thionville dans

le rayon d'action du PDC respectivement la sortie vers Thionville depuis le rayon d'action du PDT est tributaire du déblocage préalable de ce poste PDT via un jeu d'assentiment commandé par le PDC.

Pour le rayon d'action du PDC, il est important de noter qu'en cas d'avarie à un composant du système Memor II+ ou à un composant du système de sécurité ETCS dans la circonscription de circulation respective, il n'existe pas de moyens techniques informant automatiquement les agents du PDC et du PDT de cette avarie, hormis dans le cas d'une notification par un conducteur de train respectivement un agent de maintenance ayant constaté une avarie sur place.

1.16 Moyens de communication

Le tronçon Bettembourg – frontière est équipé du système radio-sol train (canal 4 – UIC 65) et le tronçon frontière – Thionville est équipé du système de communication GSM-R, permettant aux conducteurs de train de prendre contact avec les postes de régulation.

La section de Bettembourg jusqu'à la frontière fait partie de la circonscription radio de Luxembourg.

Il est à noter qu'à aucun moment les deux conducteurs n'ont pris contact avec les postes de régulation.

De plus, les conducteurs de train sont en possession d'un GSM de service, qu'ils doivent porter sur eux. L'utilisation du GSM de service ou privé est interdite pendant les tâches liées à la conduite.

1.17 Visite des lieux

Quelques heures après l'accident des contrôles ont été réalisés par le service de maintenance du gestionnaire de l'infrastructure. Selon les informations reçues par le gestionnaire de l'infrastructure, les contrôles n'ont pas révélé d'anomalies sur cette partie du réseau ferré.

Au lendemain de l'accident, une visite des lieux a été effectuée par les enquêteurs de l'AET. Ils ont vérifié entre autres l'état de l'infrastructure au niveau de la voie empruntée par le TER 88807 en amont du lieu de l'accident. Les installations de signalisation ainsi que du système Memor II+ aux SFAv Adm et SFP Dm ont fait l'objet de vérifications. La visite des lieux s'est achevée par une inspection du PDC et du PDT. Aucune avarie ni aucun dysfonctionnement n'ont pu être constatés par les enquêteurs de l'AET.

2 Système Memor II+

2.1 Historique

En 1999, les CFL ont décidé d'équiper entièrement le réseau ferré national du système de sécurité européen ETCS en remplacement du système de répétition des signaux (RPS) existant, encore appelé « brosse - crocodile » dont les performances limitées ne permettaient plus d'assurer suffisamment la sécurité des circulations au vu de l'accroissement du trafic. En attendant le déploiement de l'ETCS, les CFL ont décidé, comme mesure transitoire, de généraliser le déploiement du système Memor II+, développé à partir de 1997 à la suite de trois franchissements d'un signal fermé ayant mené à des accidents graves.

Le système de sécurité ETCS est un système unifié de contrôle automatique des trains qui, à l'aide de balises fixées au sol, informe le conducteur de train en permanence de la vitesse maximale autorisée. Tout le réseau ferré national est équipé de ce système de sécurité, lequel surveille en continu la conduite du train et engage automatiquement un freinage d'urgence lorsqu'il détecte une anomalie liée à la conduite ou à un dysfonctionnement. Un train sous contrôle ETCS ne peut effectuer que le parcours pour lequel le système l'a autorisé. Un défaut de renouvellement de l'autorisation ou l'absence de transmission d'informations par une balise, détecté à bord par le biais du chaînage des balises, conduit à l'arrêt du train.

Le système Memor II+, regroupant les fonctions « répétition des signaux » et « aide à la conduite », a été développé afin d'éviter ou d'atténuer les conséquences d'un non-respect de la signalisation et ainsi d'améliorer le niveau de sécurité du système RPS. Il a été complété d'une fonction de mémorisation de l'annonce de restriction transmise par le système RPS doublée d'un contrôle de décélération du train ainsi que d'un contrôle du franchissement d'un signal d'arrêt.

Il a pour objectif de rappeler aux conducteurs de trains, lors du passage d'un signal, la position du signal en cabine et de déclencher, le cas échéant, un freinage d'urgence en cas de non-respect du signal.

Il est important de noter qu'à la différence du système européen de contrôle des trains, la non-transmission d'une impulsion en raison d'un éventuel dysfonctionnement n'est pas détectée par le système et n'a dès lors pas d'influence sur la conduite du train.

2.2 Mode de fonctionnement

Le système Memor II+ peut être divisé en deux sous-systèmes. Le premier englobe l'équipement se situant au niveau de l'infrastructure, le second englobe l'équipement de l'engin moteur.

Les explications contenues dans les chapitres ci-dessous se limitent aux équipements et installations Memor II+ ayant joué un rôle lors de l'accident.

2.2.1 Équipement au sol

Le système Memor II+ est composé d'une barre en fer ondulée, dénommée « crocodile », fixée entre les rails de la voie à hauteur d'un signal et polarisée au moyen d'une source d'alimentation à courant continu compris entre 12 V et 18 V. Sur le réseau ferré national les signaux fixes principaux (SFP), les signaux fixes avancés (SFAv), les signaux fixes annonceurs de vitesse-infrastructure pour une réduction de vitesse ≥ 40 km/h (SFAVI) ainsi que les signaux mobiles annonceurs de ralentissements temporaires (SMR/A) sont équipés de « crocodiles ».

Il est à noter que les signaux fixes principaux sont équipés de deux « crocodiles » consécutifs ayant comme fonction, le cas échéant, de commander un freinage d'urgence (signal fermé).

La polarisation des « crocodiles » dépend de l'état du signal.

Le potentiel est pour un signal fixe avancé (SFAv) :

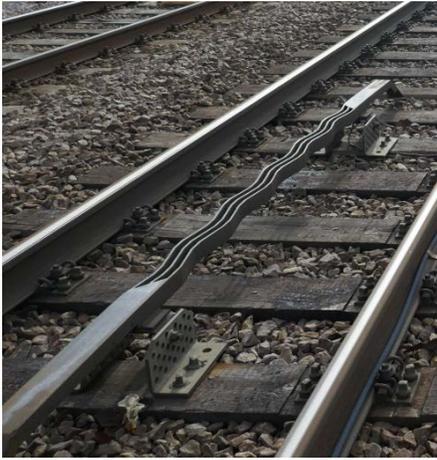
position	désignation	potentiel du crocodile
position d'avertissement	SFAv1	positif
position d'annonce à distance de voie libre	SFAv2	négatif
position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse	SFAv3	positif
	sens inverse	flottant

Le potentiel est pour un signal fixe principal (SFP) :

position	désignation	potentiel	
		1 ^{er} crocodile	2 ^{ème} crocodile
position d'arrêt	SFP1	positif	positif
position de voie libre	SFP2	flottant	flottant
position de voie libre avec limitation de la vitesse	SFP3	flottant	flottant
	sens inverse	flottant	flottant

La polarisation des signaux fixes annonceurs de vitesse-infrastructure pour une réduction de vitesse ≥ 40 km/h (SFAVI) ainsi que celle des signaux mobiles annonceurs de ralentissements temporaires (SMR/A) ne sont pas représentées car ces signaux ne sont pas considérés dans le cadre de cette enquête de sécurité.

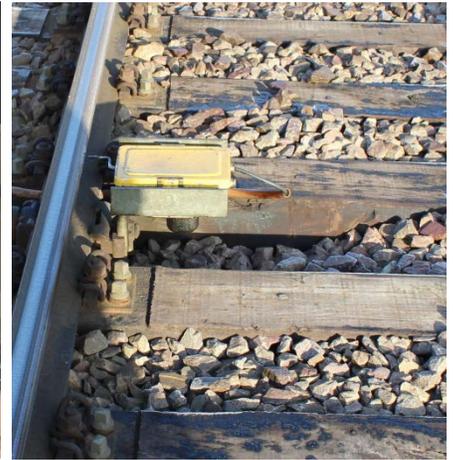
Lors du passage d'un train, une brosse composée de fines lamelles métalliques verticales (brosse de contact) fixée en dessous de l'engin de traction vient frotter sur la surface supérieure du « crocodile » et ferme ainsi le circuit électrique. Une impulsion électrique est envoyée en cabine et transmise au conducteur par l'équipement embarqué Memor II+.



« crocodile »



brosse de contact



pédale de contresens

Le conducteur reçoit à travers cette impulsion l'information de la position du signal du SFAv par un avertissement sonore et/ou visuel en cabine.

Cependant, il est à noter que selon le type de matériel roulant, aucun avertissement n'est transmis au conducteur de train, en cas de franchissement d'un signal fixe avancé en position de voie libre. L'automotrice impliquée dans l'accident, de type TER2N-ng, faisait partie de ce type de matériel roulant.

En outre, l'installation comporte une pédale de contresens (détecteur électromécanique) qui a comme fonction de supprimer, de façon temporaire pour cette circulation, l'action de supervision du système Memor II+ lorsqu'elle est abordée à revers. En effet, le potentiel par défaut étant positif, les trains circulant à contresens seraient pris en charge par le système Memor II+ lors de chaque passage à revers. Elle est fixée en amont du « crocodile » pour le train abordant le « crocodile » à revers et est activée par le passage des roues.

2.2.2 Équipement de bord

L'impulsion reçue par l'engin moteur lors du passage d'un signal est transmise aux systèmes embarqués de répétition des signaux ainsi que d'aide à la conduite.

2.2.2.1 Répétition des signaux

La fonction « répétition des signaux » est composée, au niveau du poste de conduite d'une rame de type TER2N-ng, principalement :

- d'un bouton poussoir BP-Vigilance, à acquitter par le conducteur de train endéans 4 secondes, lors du passage d'un signal en position d'avertissement ou de limitation de vitesse, afin d'éviter un freinage d'urgence ;
- d'une lampe témoin vigilance jaune « LS-SF », s'allumant lors du passage d'un signal fixe avancé indiquant une restriction de vitesse ;
- d'un émetteur de bip sonore, alertant le conducteur lors du passage d'un signal fixe avancé en position d'avertissement ou indiquant une restriction de vitesse ;

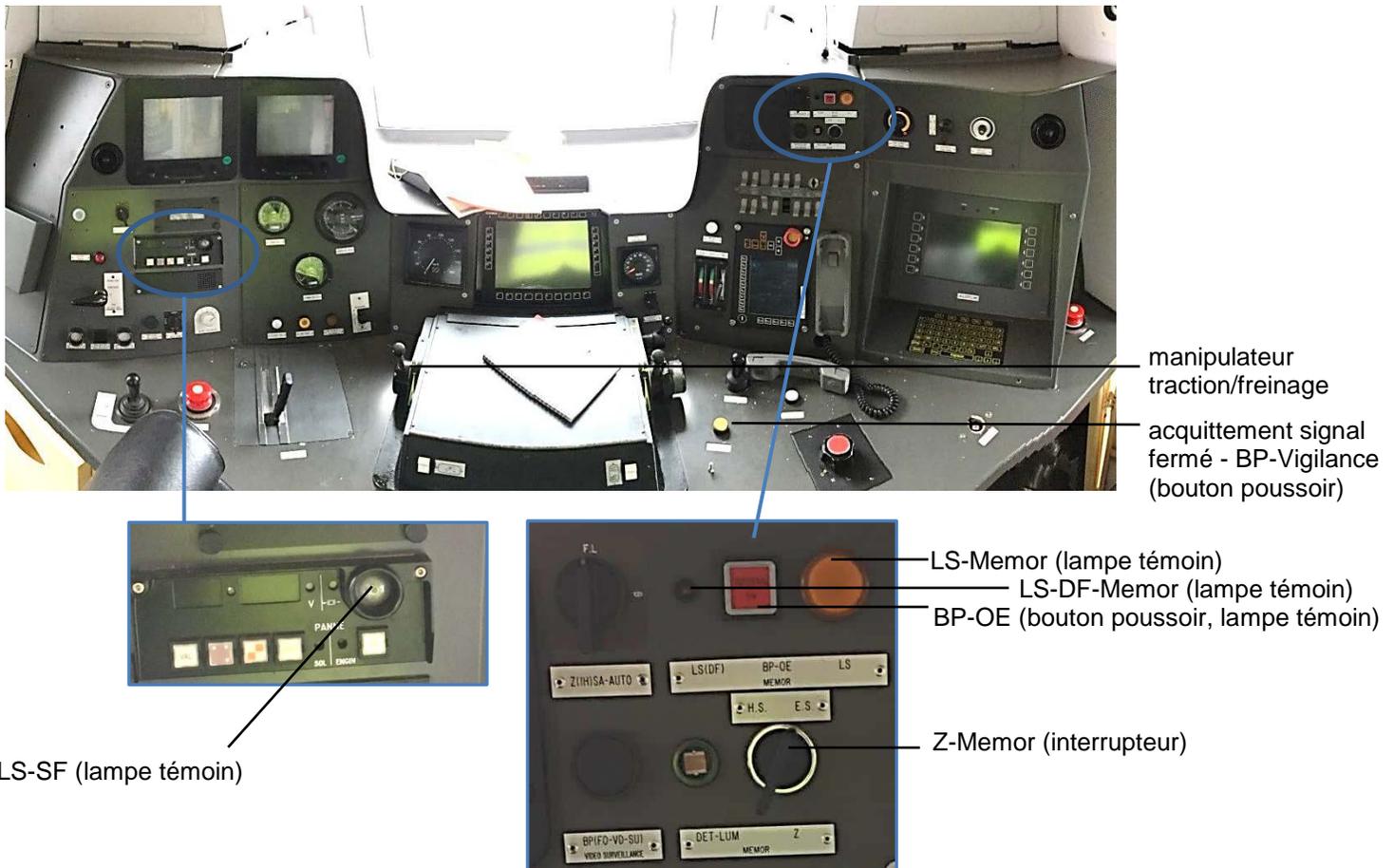
2.2.2.2 Aide à la conduite

La fonction « aide à la conduite » est composée, au niveau du poste de conduite d'une rame de type TER2N-ng, principalement :

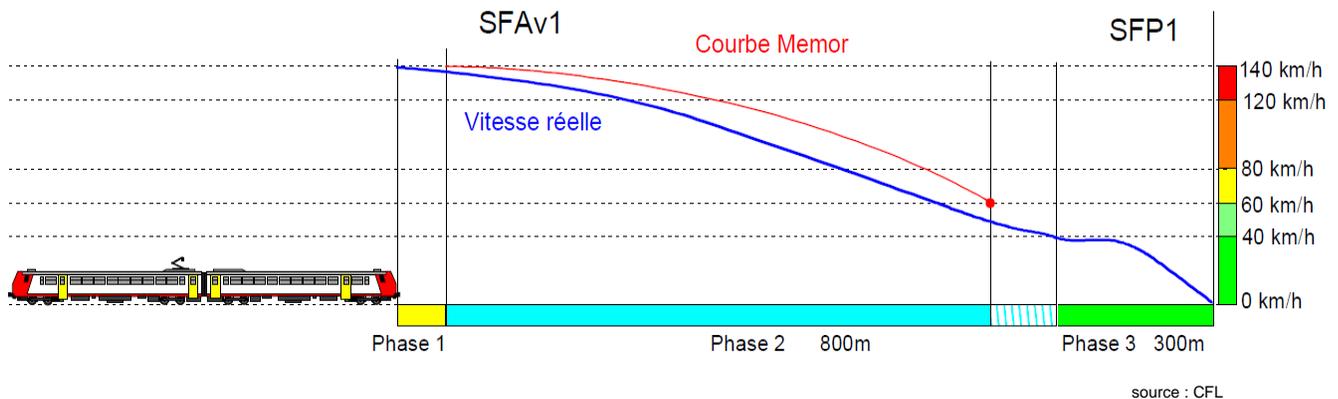
- d'une lampe témoin « LS-Memor » jaune, indiquant l'état d'activation de l'aide à la conduite ;
- d'une lampe témoin « LS-DF-Memor » rouge, indiquant le cas échéant une avarie ;
- d'un bip sonore, indiquant le cas échéant certains types d'avarie;
- d'un bouton poussoir « BP-OE » rouge, servant à inhiber l'aide à la conduite, en cas, par exemple, de réception d'un ordre écrit autorisant le conducteur de train à franchir un SFP en position d'arrêt ;
- d'un interrupteur « Z-Memor », mettant certaines fonctions de l'aide à la conduite hors service (par exemple lors de la circulation sur les réseaux ferrés limitrophes).

Il est à noter que pour le matériel roulant de type TER2N-ng impliqué dans l'accident, aucune information visuelle ni acoustique n'est transmise en cabine au conducteur de train lors du franchissement de signaux en position de voie libre. Uniquement l'observation de la signalisation latérale informe le conducteur de train sur la position de voie libre d'un signal fixe avancé.

L'équipement en cabine :



2.3 Conduite sous Memor II+ (SFP fermé)



Lors du passage d'un signal fixe avancé en position d'avertissement (polarité positive), le conducteur de train doit décélérer en amont pour le cas où la vitesse est à moins de 20 km/h de la vitesse maximale autorisée. (Phase 1)

À hauteur du signal fixe avancé, l'impulsion enregistrée à hauteur du « crocodile » actionne les lampes signalétiques LS-SF et LS-Memor ainsi qu'un bip sonore. Le conducteur de train doit acquitter le bouton poussoir BP-Vigilance endéans 4 secondes afin d'éviter un freinage d'urgence et ainsi l'arrêt complet du train, tout en réduisant la vitesse afin de pouvoir s'arrêter devant le signal fixe principal à l'arrêt. La lampe signalétique LS-SF s'éteint. (Phase 2)

La décélération est surveillée dès réception de l'impulsion à hauteur du signal fixe avancé par le système embarqué Memor II+ sur une distance de 800 m. La vitesse du train doit être constamment inférieure à la vitesse de référence définie par une courbe de décélération prédéfinie sur base des vitesses maximales autorisées sur le réseau ferré national (courbe rouge). 800 m après le passage sur le « crocodile », la vitesse doit être inférieure à 60 km/h.

Cette référence s'applique à tous les engins moteurs, indépendamment de leur composition, de leur régime de freinage ainsi que du profil de la ligne. Tous les 25 m la vitesse réelle du train est analysée par l'équipement embarqué Memor II+. En cas de dépassement de la vitesse maximale autorisée, un freinage d'urgence est activé automatiquement.

Après 800 m, la phase de contrôle de la vitesse s'achève, la lampe LS-Memor s'éteint et l'équipement de bord du système Memor II+ se remet automatiquement en état de veille.

Le tableau ci-après indique les vitesses maximales (vitesses de référence) en fonction de la distance parcourue à partir de la réception de l'impulsion, au-delà desquelles un freinage d'urgence est engagé automatiquement par le système Memor II+ :

franchissement « crocodile » ->

m	km/h	m	km/h
0	140	425	110
25	139	450	107
50	138	475	104
75	137	500	102
100	136	525	99
125	135	550	96
150	133	575	93
175	132	600	90
200	130	625	87
225	129	650	84
250	127	675	81
275	125	700	78
300	122	725	75
325	120	750	70
350	117	775	65
375	115	800	60
400	112		

<- après 800 m le train doit avoir une vitesse inférieure à 60 km/h

À l'approche du signal principal (Phase 3) le conducteur de train doit adapter la vitesse afin d'être en mesure de pouvoir s'arrêter, le cas échéant, devant un signal à l'arrêt. Il doit avoir réduit la vitesse de son train à une vitesse maximale de 40 km/h à une distance de 300 m en amont du signal fixe principal en position d'arrêt.

Les dispositifs d'enregistrement des événements de conduite servant à contrôler la marche des trains permettent de retracer la mise en ou hors service du système Memor II+.

Une avarie au dispositif Memor II+ installé à bord de l'engin moteur est signalée au conducteur de train par le clignotement de la lampe témoin LS-DF-Memor.

Cependant, il est à noter que le dispositif Memor II+ ne devient actif que lorsque l'engin moteur reçoit une impulsion à potentiel positif par rapport au rail, au passage d'un « crocodile ». Sans cette impulsion il n'y a pas de surveillance de la conduite et le cas échéant d'engagement d'un freinage d'urgence automatique.

3 Données des enregistreurs d'évènements

Les deux trains impliqués dans l'accident étaient équipés d'enregistreurs d'évènements, qui ont été saisis par les autorités judiciaires après l'accident.

Il est important de noter que :

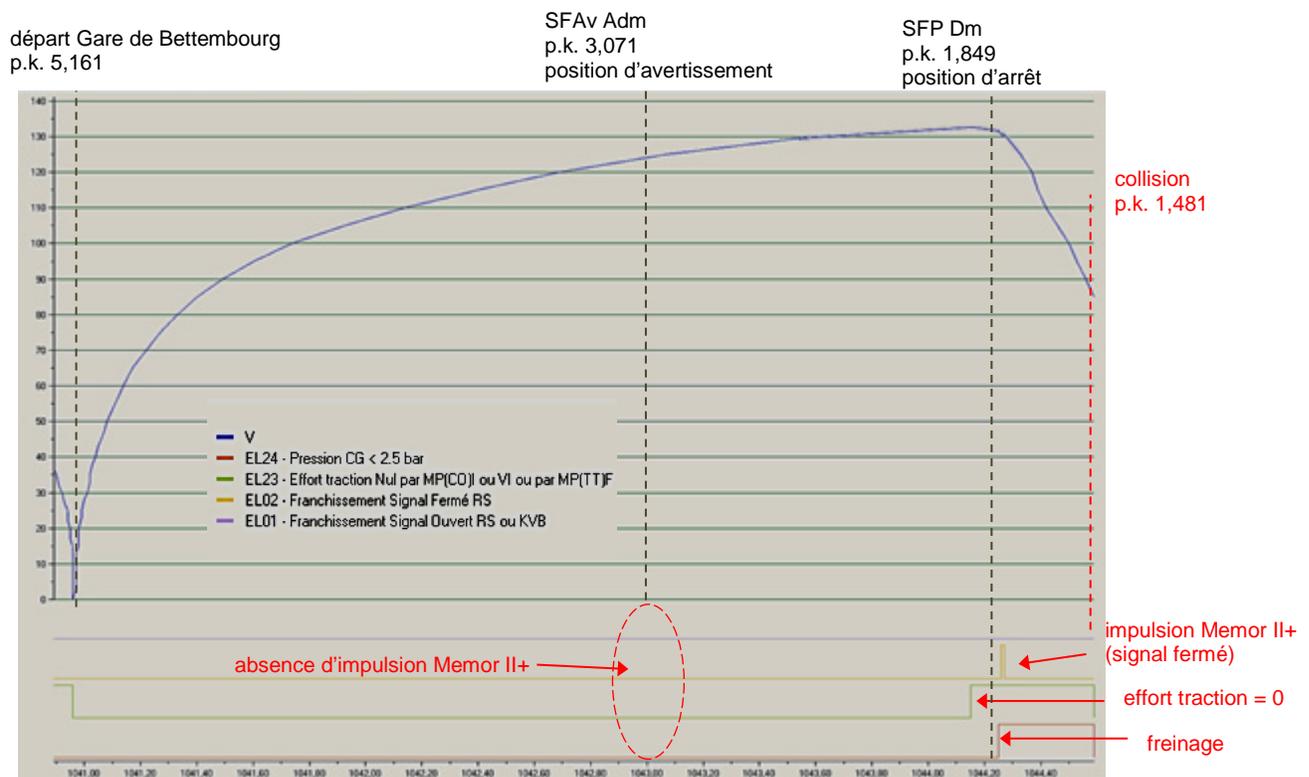
- les indications de temps contenues dans les deux enregistreurs d'évènements ne sont pas synchronisées ;
- les enregistreurs d'évènements peuvent ne pas contenir les tout derniers instants avant l'impact en raison des dommages importants subis lors de la collision ;
- les dernières données enregistrées par les enregistreurs d'évènements ont été considérées comme valeurs de référence à l'impact.

3.1 Enregistreur d'évènements du TER 88807

Bien que le poste de conduite ait été quasiment totalement détruit, la cassette contenant les données de l'enregistreur d'évènements (type ATESS) était intacte, permettant ainsi l'analyse des données du trajet ainsi que des manipulations du conducteur de train.

L'enregistreur du système Memor II+ a permis de confirmer que le système était bien en fonction lors du trajet. Il a été activé à 7h20 le jour de l'accident.

Données tachygraphiques - Trajet à partir de la Gare de Bettembourg (vitesse [km/h] / distance [km])



Représentation graphique de l'extrait de l'enregistrement d'évènements ATESS - TER 88807

Selon les données de l'enregistreur d'évènements, le TER part à 08h28m58s de la Gare de Luxembourg. À 08h42m48s, il effectue un arrêt en Gare de Bettembourg, pour ensuite repartir en direction de la frontière. Environ une minute et demie plus tard il passe le SFAv Adm. L'impulsion du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm n'est pas contenue dans les données de l'enregistreur d'évènements, laissant supposer que l'information n'a pas été transmise en cabine. Le train atteint 133 km/h environ 100 m en amont du SFP Dm. À ce moment, le conducteur de train enlève la traction et engage la commande de freinage pneumatique. La mise à l'atmosphère de la conduite générale de frein (CG < 2,5 bar) devient effective à hauteur des « crocodiles » en aval du SFP Dm.

Deux secondes plus tard le train franchit ce même signal, le conducteur de train appuie 2 fois sur le bouton poussoir BP-Vigilance afin d'acquiescer l'alerte émise par le système Memor II+, l'informant du franchissement du SFP en position d'arrêt. La vitesse du TER atteint 85 km/h au moment de l'impact.

Chronologie

Les données de l'enregistreur d'évènements ont permis d'établir la chronologie des derniers instants du trajet :

heure	distance [km]	lieu/signal	vitesse	remarque
08:28:58	15,04	départ Gare de Luxembourg	-	2 min retard
08:42:48	3,630	arrêt Gare de Bettembourg	-	2 min retard
08:43:22	3,630	départ Gare de Bettembourg	-	2 min retard
08:44:50 ²	1,590	franchissement SFAv Adm - <i>position d'avertissement</i>	123 km/h ²	
08:45:22	0,430	commande de freinage pneumatique	133 km/h	
08:45:24	0,330	franchissement « crocodile » (SFP Dm) - <i>position d'arrêt</i>	131 km/h	
08:45:35 ²	0	collision	85 km/h	

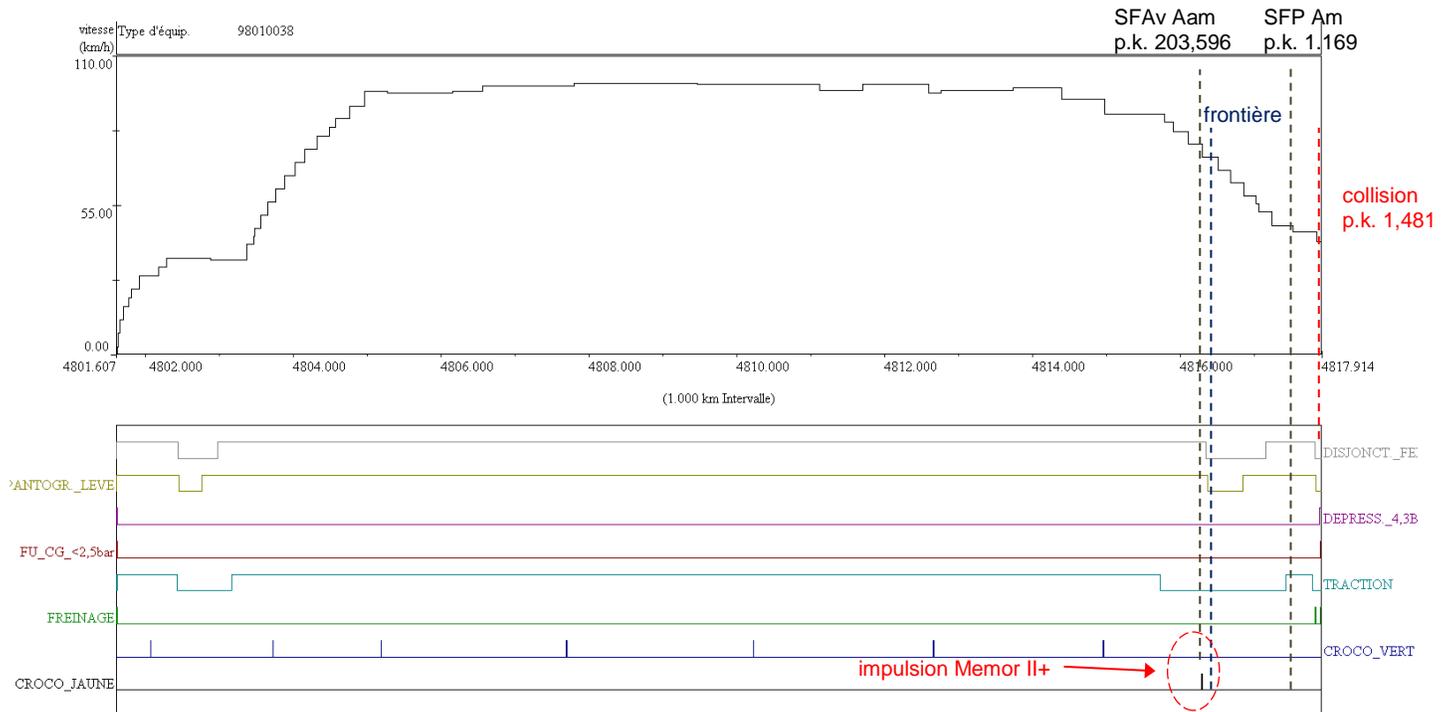
(source des données : enregistreur d'évènements)

² Données non contenues dans l'enregistreur d'évènements, elles ont été ajoutées afin de compléter la chronologie de l'accident.

3.2 Enregistreur d'évènements du train de marchandises 49800

La locomotive de tête (n°1309) était équipée d'un enregistreur d'évènements de type Hasler « Teloc-As-2200 ». Bien que le poste de conduite ait été quasiment totalement détruit, la cassette contenant les données était intacte, permettant ainsi l'analyse des données du trajet ainsi que des manipulations du conducteur.

Données tachygraphiques - Trajet à partir de la Gare de Thionville (vitesse [km/h] / distance [km])



Représentation graphique de l'extrait l'enregistrement d'évènements TELOC - mémoire court terme - TM 49800

Selon les données de l'enregistreur d'évènements, la mise en mouvement du convoi s'effectue à 08h31m45s. Le conducteur de train accélère jusqu'à atteindre environ 100 km/h. Il passe 7 signaux en position de voie libre. En amont du SFAv Aam (p.k. 203,596), lequel est en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse (60 km/h), le conducteur enlève la traction. Le convoi atteint 800 m plus loin une vitesse de 55,5 km/h, conformément à la réglementation. En amont de la frontière il abaisse le pantographe. Il passe le SFP Am en position de voie libre avec limitation de la vitesse (60 km/h) à une vitesse de 47,5 km/h. Peu avant l'impact il actionne le levier de traction pour un court moment et abaisse de nouveau le pantographe. L'impact a lieu à une vitesse de 41,7 km/h. Il est à noter que les données des 3 dernières secondes sont susceptibles d'être erronées car une indication de « données erronées » est contenue dans l'enregistrement.

Il est important de noter qu'à hauteur du SFP Am, aucune impulsion Memor II+ n'est enregistrée. Le potentiel est flottant (pas de tension), étant donné que le signal n'est pas en position d'arrêt.

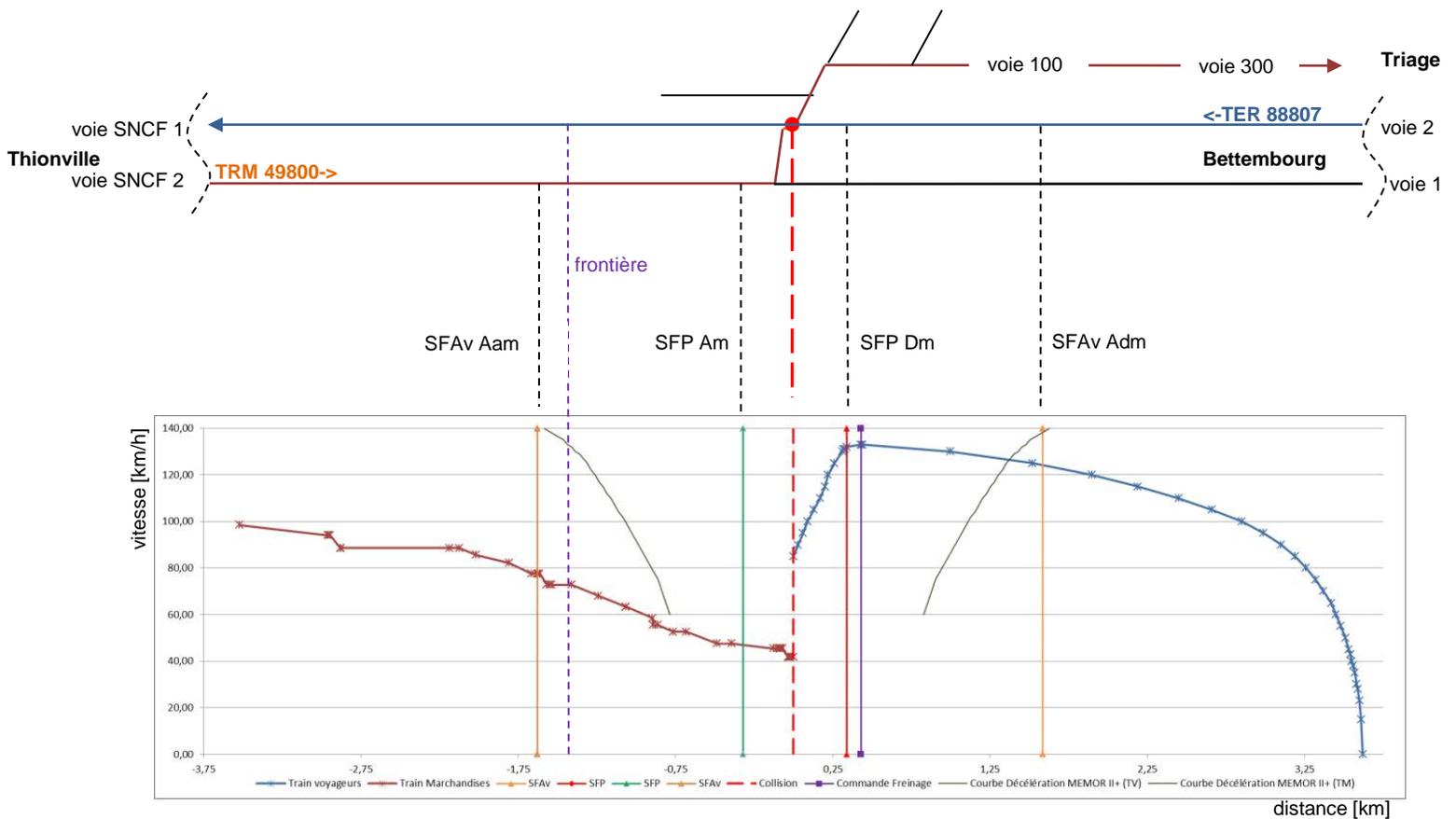
Chronologie

Les données de l'enregistreur d'évènements ont permis d'établir la chronologie des derniers instants du trajet:

heure	distance [km]	lieu/signal	vitesse	remarque
08:31:45	16,295	mise en mouvement	-	52 min retard
08:43:48	1,628	franchissement « crocodile » (SFAv Aam) - <i>position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse</i>	77 km/h	
08:43:55 ³	1,481	frontière	72 km/h ³	
08:45:15 ³	0,312	franchissement SFP Am - <i>position de voie libre avec limitation de la vitesse</i>	47 km/h ³	
08:45:35	0,000	collision	41 km/h	

(source des données : enregistreur d'évènements)

3.3 Représentation des itinéraires



³ Données non contenues dans l'enregistreur d'évènements, elles ont été ajoutées afin de compléter la chronologie de l'accident.

3.4 Analyse des impulsions Memor II+ au SFAv Adm

Suite au constat de l'absence d'impulsion Memor II+ pour le TER 88807 à hauteur du SFAv Adm, une analyse des données des enregistreurs d'évènements d'une grande partie du matériel roulant ayant emprunté cette même voie au cours de l'année 2017 (01 janvier 2017 jusqu'au 14 février 2017) a été effectuée par les CFL. Ceci afin de vérifier la fiabilité de la transmission du signal à l'équipement embarqué Memor II+ des différents matériels roulants.

L'analyse concernait en tout 420 trajets, dont 408 effectués par des trains de type automotrice TER2N-ng et 12 effectués par des locomotives de type 3000. Pour 15 trajets l'enregistreur d'évènements ne contient pas l'impulsion Memor II+ au SFAv Adm.

Les constatations suivantes ont été faites lors de l'analyse :

- lors de ces 15 trajets, toutes les autres impulsions Memor II+ ont été correctement transmises à l'équipement embarqué ;
- l'automotrice impliquée dans l'accident (N°2211-Z5) ne figure pas dans la liste des automotrices n'ayant pas reçu l'impulsion pendant cette période ;
- l'automotrice impliquée dans l'accident (N°2211-Z5) a effectué ce même trajet pendant cette période en recevant correctement à chaque fois toutes les impulsions Memor II+ ;
- le TER qui a précédé celui impliqué dans l'accident, n'a également pas reçu d'impulsion Memor II+ au SFAv Adm ;
- le jour précédant l'accident le même TER 88807, composé d'un matériel roulant différent, n'a également pas reçu d'impulsion Memor II+ au SFAv Adm ;
- la position du SFAv Adm était dans 14 des 15 cas en position de voie libre. Lors d'un franchissement, le SFAv Adm était en position d'avertissement, comme le jour de l'accident, obligeant le train à s'arrêter devant un signal fixe principal en position d'arrêt ;
- les 12 trains tractés par une locomotive de type T13/3000, ont reçu toutes les impulsions Memor II+ correctement.

Cette analyse a mis en évidence le fait que l'irrégularité se situe au niveau de l'équipement Memor II+ au sol, étant donné que les différents matériels roulants ont reçu toutes les impulsions Memor II+ sur leur trajet, à l'exception de l'impulsion à hauteur du SFAv Adm.

Au vu du caractère aléatoire des 15 cas de non-transmission du signal Memor II+, une détection ultérieure de la cause du dysfonctionnement peut s'avérer difficile.

4 Faits établis

L'enquête a permis d'établir les faits suivants :

- Aucun dysfonctionnement, ni à la signalisation latérale, ni au poste de desserte n'a été constaté ;
- Selon les documents fournis par les CFL, la maintenance de l'équipement Memor II+ au sol et à bord du matériel roulant a été faite selon les prescriptions en vigueur ;
- L'itinéraire du train de marchandises 49800 était correctement établi⁴. Il avait la priorité sur le TER 88807, lequel devait s'arrêter à hauteur du SFP Dm pour laisser passer le train de marchandises ;
- Le système Memor II+ était en fonction dans les 2 cabines de conduite ;
- Le conducteur du train de marchandise a adapté correctement la vitesse du train par rapport à la signalisation rencontrée lors de son trajet vers Bettembourg ;
- Le conducteur du TER 88807 n'a pas adapté la vitesse de 123 km/h au passage du SFAv Adm en position d'avertissement alors que la réglementation lui imposait de réduire la vitesse pour ne pas dépasser 800 m après le franchissement de ce signal la vitesse de 60 km/h ;
- L'enregistreur d'évènements du TER 88807 ne contient pas l'information de l'impulsion Memor II+ au SFAv Adm ;
- Aucun freinage d'urgence n'a été déclenché par le système Memor II+ après le franchissement du SFAv Adm en position d'avertissement par le TER 88807, lorsque la vitesse a dépassé celle imposée par la courbe de décélération Memor II+ ;
- Le conducteur du TER 88807 a engagé, à la vitesse de 133 km/h et environ 100 m en amont du SFP Dm en position d'arrêt, la commande de freinage pneumatique ;
- L'enregistreur d'évènements du TER 88807 contient l'information de l'impulsion Memor II+ du SFP Dm en position d'arrêt en aval du SFAv Adm et celle du signal combiné Xv/Aqv en position de voie libre en amont du SFAv Adm ;
- Suite aux analyses des données des enregistreurs d'évènements demandées par l'AET, des dysfonctionnements à l'installation Memor II+ au niveau de l'infrastructure à hauteur du SFAv Adm ont pu être identifiés à plusieurs reprises depuis le début de l'année 2017.

⁴ Un itinéraire est établi lorsqu'il est formé, c'est-à-dire que tous les appareils de voie sont disposés et enclenchés et que d'autre part la commande d'ouverture du signal d'origine de l'itinéraire est lancée.

5 Recommandations immédiates

L'AET a décidé d'émettre dès les premières constatations de l'enquête de sécurité des recommandations de sécurité afin de prévenir le renouvellement d'un accident similaire.

Sans attendre les conclusions de l'enquête et conformément à l'alinéa 2 de l'article 9 de la loi du 30 avril 2008 portant création de l'AET, les recommandations suivantes ont été adressées à l'ACF :

- **Recommandation LU-CF-2017-001** : Imposer aux entreprises ferroviaires que tout le matériel roulant sur le réseau ferré national, utilisant le système d'aide à la conduite Memor II+, soit équipé de manière homogène d'un système d'alerte informant le conducteur de train de la position du signal fixe avancé lors du passage.

Il y a lieu de constater que le système Memor II+ des automotrices de type TER2N-ng détecte et enregistre, à chaque passage d'un signal fixe avancé, une impulsion positive ou négative en fonction de la position du signal fixe avancé. Cependant un avertissement sonore dans la cabine de conduite ne retentit que lors d'un passage avec une polarisation positive. Il en résulte que le conducteur de train d'une automotrice de type TER2N-ng n'est pas en mesure de détecter une éventuelle défaillance du système lors d'un passage avec annonce de voie libre.

- **Recommandation LU-CF-2017-002** : Faire évoluer le plus rapidement possible, l'utilisation sur tout le réseau ferré national, du système d'aide à la conduite Memor II+ vers le système unifié de contrôle-commande ETCS.

Fort du constat que le système Memor II+ ne dispose pas de dispositif technique détectant la non-transmission d'une impulsion Memor II+, il s'avère important d'imposer à toutes les entreprises ferroviaires circulant sur le réseau ferré national d'équiper au plus vite tout leur matériel roulant avec le système de sécurité européen ETCS.

- **Recommandation LU-CF-2017-003** : Sensibiliser le personnel de conduite à communiquer systématiquement au gestionnaire d'infrastructure, dans les plus brefs délais et par les premiers moyens à leur disposition, toute irrégularité et toute avarie constatée aux infrastructures ferroviaires.

En complément à la recommandation LU-CF-2017-001, il est important de sensibiliser le personnel de conduite à notifier toute irrégularité liée à la sécurité afin de pouvoir prendre rapidement des mesures préventives ou correctives appropriées.

- **Recommandation LU-CF-2017-004** : Veiller à ce que les utilisateurs de l'infrastructure ferroviaire procèdent à une analyse systématique des données de conduite enregistrées afin de détecter d'éventuelles anomalies.

Fort du constat que le système Memor II+ ne possède pas de dispositif technique détectant la non-transmission d'une impulsion Memor II+, il paraît opportun de pallier, dans une certaine mesure, cette faiblesse en surveillant a posteriori le bon fonctionnement de ce système sur tout le réseau ferré national.

6 Mesures préventives et correctives

À la suite de l'accident, des mesures préventives et correctives ont été prises par les entreprises ferroviaires CFL et SNCF, par le gestionnaire de l'infrastructure ainsi que par l'Administration des chemins de fer.

Les mesures prises par l'entreprise ferroviaire CFL sont les suivantes :

- Sensibilisation des conducteurs aux gestes métier concernant la conduite avec le système Memor II+ ainsi qu'à la réglementation concernant l'utilisation du GSM pendant la conduite ;
- Contrôle immédiat des brosses de contact et du fonctionnement du système Memor II+ pour tout le parc roulant ferroviaire ;
- Périodicité du contrôle des brosses de contact et du fonctionnement du système Memor II+ réduite à 2 semaines pour tout le parc roulant ferroviaire ;
- Adaptation de la fiche de contrôle afin de documenter l'état et la position des brosses de contact avant et après les entretiens au Centre de Maintenance ;
- Réglage des brosses de contact sur la position la plus basse possible (58 mm) lors de chaque entretien ;
- Equiper en ETCS tout le parc roulant ferroviaire des CFL destiné au trafic voyageurs avant le 31 décembre 2017 ;
- Analyse hebdomadaire des enregistrements d'évènements de conduite d'au moins un train par engin et d'au moins 3 trains par ligne pour vérifier la bonne transmission des impulsions Memor II+;
- Equiper le matériel roulant de type TER2N-ng d'un système émettant un signal acoustique au franchissement d'un signal fixe avancé en position de voie libre, conformément à la recommandation LU-CF-2017-001 ;
- Réglementation plus restrictive en cas de défaut du système Memor II+ ou de défaut du système ETCS en gare d'origine ou en cours de route ;
- Utilisation obligatoire du système de sécurité ETCS si disponible sur le matériel roulant, à l'exception des trains transfrontaliers de et vers la France ;
- Pour les trains transfrontaliers circulant vers la France, le système ETCS est utilisé jusqu'à la gare frontière, où lors de l'arrêt, le basculement vers le système Memor II+ est réalisé.

À partir du 29 janvier 2018, l'EF CFL est autorisée à circuler avec du matériel roulant voyageurs CFL sur le réseau ferré français en ETCS.

Les CFL ont élargi certaines mesures aux entreprises ferroviaires roulant sous leur certificat de sécurité :

- Demande faite auprès de la SNCF et de la SNCB de documenter l'état et la position des brosses de contact avant et après les entretiens et d'assurer que la hauteur entre le plan de contact de la brosse de contact et le plan de roulement se situe entre 58 mm et 70 mm ;
- Demande faite auprès de la SNCF et de la SNCB d'accélérer la migration vers le système de sécurité ETCS de leur matériel roulant utilisé lors des trajets transfrontaliers ;
- Renforcement du dialogue concernant la sécurité entre les CFL et la SNCF en optimisant l'échange d'informations en ce qui concerne les systèmes de sécurité et les interfaces entre la conduite, le matériel roulant et l'infrastructure.

D'après les informations reçues par les CFL, les mesures prises par l'entreprise ferroviaire SNCF sont les suivantes :

- Renforcement des contrôles de l'équipement Memor II+ à bord des TER2N Lorraine ;
- Accélération du processus de migration des rames SNCF vers le système de sécurité ETCS ;
- Réduction du pas de vérification des brosses de contact (réduction de 56 jours à 28 jours) ;
- Réglage des brosses de contact, lors de chaque entretien, à la position la plus basse;
- Analyse bimensuelle des enregistrements des événements de conduite de tous les trains effectués avec du matériel roulant SNCF sur le réseau ferré luxembourgeois, pour vérifier la bonne transmission des impulsions Memor II+.

Les mesures prises par le gestionnaire de l'infrastructure CFL sont les suivantes :

- La périodicité des inspections des installations Memor II+ aux signaux fixes avancés a été raccourcie (réduction de 2 mois à 1 mois) ;
- Mise en place d'une surveillance étroite du planning de mise en service de l'intégralité des installations ETCS au sol du réseau national y compris les passages frontières avant le 1^{er} juillet 2017 ;
- Adaptation du RGE afin d'instaurer des règles plus restrictives en cas de pannes des systèmes essentiels intéressant la sécurité à bord des engins moteurs ;
- Vérification du bon fonctionnement avec un appareil enregistreur des différents types d'installations de répétition des signaux au moment du contact « brosse - crocodile ».

En outre, l'Administration des chemins de fer a avancé la date butoir au 31 décembre 2019, initialement prévue pour le 30 juin 2021, en ce qui concerne l'obligation de circuler au Luxembourg avec le système de sécurité ETCS.

7 Investigations en cours

Les investigations ne sont à ce jour pas achevées. L'enquête de sécurité se concentre sur les deux facteurs principaux qui ont mené à l'accident.

Il s'agit d'une part du volet « facteur humain » en ce qui concerne l'absence d'actions appropriées du conducteur du TER au passage du SFAv Adm.

Et d'autre part, le volet technique en ce qui concerne la défaillance du système Memor II+ au SFAv Adm.

ANNEXE - Composition des trains 49800 et 88807

Train de marchandises (49800)

rang	n° véhicules /UTI	dégâts
1	1309 (locomotive type 3000)	détruit
2	1330 (locomotive type 3000)	fortement avarié
3	31 88 4670 265-8	fortement avarié
4	31 88 4671 111-3	fortement avarié
5	31 88 4777 618-0	fortement avarié
6	31 88 4777 561-2	fortement avarié
7	31 88 4670 673-3	fortement avarié
8	31 88 4671 035-4	légèrement avarié
9	31 88 4670 294-8	légèrement avarié
10	31 88 4670 709-5	légèrement avarié
11	31 88 4671 096-6	légèrement avarié
12	31 88 4670 759-0	légèrement avarié
13	31 88 4670 647-7	légèrement avarié
14	31 88 4670 833-3	
15	31 88 4777 592-7	
16	31 88 4671 241-8	
17	31 88 4670 561-0	
18	31 88 4777 641-2	
19	31 88 4671 032-1	
20	31 88 4670 705-3	
21	31 88 4777 704-8	
22	31 88 4671 042 0	
23	31 88 4671 211-1	
24	31 88 4671 247-5	
25	31 88 4670 693-1	
26	31 88 4671 128-7	
27	31 88 4671 081-8	
28	31 88 4671 021-4	
29	31 88 4671 086-7	

poids total =	790 t
longueur totale =	369 m

TER (88807)

rang	n° véhicules /UTI	dégâts
1	94 82 00 2211 5-8	détruit
2	94 82 00 2211 3-3	fortement avarié
3	94 82 00 2211 1-7	fortement avarié

poids total =	193 t
longueur totale =	81,1 m