



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Ministère de la Mobilité  
et des Travaux publics

Administration des enquêtes techniques

# RAPPORT FINAL

## Collision ferroviaire du 14 février 2017 à Dudelange

Date : 13.02.2020

### **ADMINISTRATION DES ENQUÊTES TECHNIQUES**

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





**Ministère de la Mobilité et des Travaux Publics**

**Département de la Mobilité et des Transports**

**Administration des enquêtes techniques**

**Rapport N° AET/CF-2020/01**

## **Rapport final**

Collision ferroviaire du 14 février 2017 à Dudelange

### **Administration des enquêtes techniques (AET)**

B.P. 1388  
L-1013 Luxembourg

Tel: +352 247-84403

Fax: +352 247-94404

Email: [info@aet.etat.lu](mailto:info@aet.etat.lu)

Web: <https://aet.gouvernement.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 au chapitre 5 de la Directive 2004/49 de la Commission Européenne concernant la sécurité des chemins de fer communautaires, 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 finale du rapport d'enquête.

# SOMMAIRE

<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>7</b>
<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Données de l'accident .....</b>	<b>10</b>
1.1 Déroulement de l'accident.....	10
1.2 Enquête de sécurité .....	11
1.3 Lieu de l'accident .....	11
1.4 Les Services de secours .....	12
1.5 Coopération avec les forces de l'ordre et les autorités judiciaires .....	12
1.6 Sources d'informations.....	12
1.7 Pertes humaines, personnes blessées.....	13
1.8 Dommages matériels .....	13
1.9 Conditions météorologiques.....	14
<b>2 Compte rendu des investigations et enquêtes .....</b>	<b>15</b>
2.1 Résumé des témoignages .....	15
2.1.1 Le conducteur du train de marchandises 49800 .....	15
2.1.2 Collègues de travail.....	15
2.2 Système de gestion de la sécurité ferroviaire .....	16
2.2.1 Cadre législatif.....	16
2.2.2 Gestion de la sécurité au niveau du Groupe CFL .....	16
2.2.3 Gestion du risque ferroviaire au niveau du GI.....	17
2.2.4 Attribution des responsabilités en matière de gestion du risque ferroviaire par le GI	18
2.3 Les itinéraires .....	18
2.4 Signalisation .....	19
2.4.1 Mirlitons.....	19
2.4.2 Signal fixe avancé .....	20
2.4.3 Signal fixe principal.....	21
2.5 Derniers signaux rencontrés par les deux trains avant la collision.....	21
2.6 Itinéraires (TER 88807 et TM 49800).....	22
2.7 Extrait du logiciel d'information du trafic ferroviaire ARAMIS .....	23
2.8 Matériel roulant .....	24
2.8.1 Train de marchandises 49800 .....	24
2.8.2 Train express régional 88807 .....	24
2.9 Les conducteurs de trains .....	25
2.9.1 Le conducteur du train de marchandises 49800 .....	25

2.9.2	Le conducteur du TER 88807 .....	25
2.10	Autorité nationale de sécurité.....	25
2.11	Infrastructure ferroviaire .....	25
2.11.1	Données de l'infrastructure ferroviaire .....	26
2.11.2	Section Bettembourg - frontière.....	27
2.12	Postes de desserte .....	27
2.13	Moyens de communication.....	28
2.14	Règles et réglementations .....	28
2.14.1	RGEF 09 « conduite et accompagnement des trains » .....	28
2.14.1.1	Réglementation sur l'utilisation du GSM.....	28
2.14.1.2	Réglementation sur la connaissance de ligne .....	29
2.14.1.3	Réglementation sur l'observation des signaux .....	30
2.14.1.4	Pannes du système Memor II+ à bord des engins moteurs.....	30
2.14.1.5	Pannes sol du système Memor II+ .....	31
2.14.2	Réglementation sur les pannes du système Memor II+ .....	31
2.15	Visites des lieux .....	32
2.16	Système Memor II+ .....	33
2.16.1	Historique .....	33
2.16.2	Mode de fonctionnement .....	33
2.16.2.1	Équipement au sol .....	33
2.16.2.2	Équipement de bord.....	35
2.16.2.2.1	Répétition des signaux.....	35
2.16.2.2.2	Aide à la conduite .....	35
2.16.3	Conduite sous Memor II+ (SFP fermé) .....	37
2.16.4	Homologation et certification du système Memor II+ .....	38
2.16.5	Prescription d'entretien du système Memor II+ .....	39
2.16.5.1	Partie installation au sol .....	39
2.16.5.2	Partie matériel roulant .....	40
2.16.5.2.1	Partie RPS.....	40
2.16.5.2.2	Partie Memor II+ .....	41
2.17	Données des enregistreurs d'évènements .....	43
2.17.1	Enregistreur d'évènements du TER 88807 .....	43
2.17.2	Enregistreur d'évènements du train de marchandises 49800 .....	45
2.17.3	Représentation des itinéraires .....	46
2.17.4	Analyse des données des enregistreurs d'évènements de tous les trains CFL ayant empruntés l'itinéraire du TER 88807 (Luxembourg - Bettembourg-frontière) en 2017 .....	47
2.17.5	Analyse complémentaire des données des enregistreurs d'évènements .....	48
2.17.5.1	Analyse de grandes échelles des données des enregistrements d'évènements sur le réseau ferré national .....	48

2.17.5.2	Analyse d'un échantillon de données des enregistreurs d'évènements de trains CFL ayant empruntés le même itinéraire (Luxembourg-Bettembourg-frontière) entre septembre et décembre 2016.....	49
2.17.5.3	Analyse de toutes les données des enregistreurs d'évènements de l'automotrice impliquée (2211-Z5) dans l'accident pour la période du 2 janvier au 8 février 2017. ....	49
2.17.5.4	Analyse hebdomadaire d'un échantillon de trains.....	50
2.18	Analyse des communications téléphoniques.....	50
2.18.1	Analyse des données de l'application « Whatsapp » de la victime décédée .....	50
2.19	Reconstitutions .....	51
2.19.1	Reconstitution du 24 février 2017 .....	51
2.19.2	Reconstitution du 22 février 2018 .....	51
2.20	Essais et analyses des composants au sol du système Memor II+ .....	54
2.20.1	Crocodile .....	55
2.20.2	Armoire relais .....	55
2.20.3	Câblage et pièces de fixations.....	55
2.20.3.1	Mesure de la tension Memor II+ .....	55
2.20.3.2	Inspection du câblage au sol.....	56
2.20.3.3	Mesure d'isolement électrique des câbles du système au sol Memor II+.....	57
2.20.4	Pédale de contresens (type cautor 69) .....	57
2.20.4.1	Composition et fonctionnement.....	57
2.20.4.2	Essais .....	58
2.20.4.2.1	Détails des essais .....	59
2.20.4.2.2	Paramètres mesurés.....	60
2.20.4.2.3	Illustrations des valeurs mesurées .....	60
2.20.4.3	Résultats des essais .....	64
2.20.4.4	Analyse de l'huile dashpot de la pédale de contresens. ....	64
2.20.5	Batterie.....	65
2.20.6	Essais et analyses effectués sur le réseau ferré national par le GI.....	66
<b>3</b>	<b>Analyse et conclusions .....</b>	<b>69</b>
3.1	Compte rendu final de la chaîne des évènements.....	69
3.2	Discussion .....	71
3.2.1	Facteur humain .....	72
3.2.2	Défaillance technique .....	74
3.2.2.1	Partie au sol du système Memor II+ .....	74
3.2.3	Facteur organisationnel .....	76
3.3	Conclusions .....	78
3.4	Faits établis.....	79
3.5	Recommandations immédiates .....	82

3.6	Mesures préventives et correctives .....	83
3.7	Suivi des recommandations immédiates .....	85
3.7.1	Mesures prises par l'ACF .....	85
3.7.2	Mesures prises par les entreprises ferroviaires.....	86
3.7.3	Mesures prises par le Gestionnaire d'infrastructure .....	86
3.8	Recommandations .....	87
<b>4</b>	<b>Annexes .....</b>	<b>89</b>
4.1	Annexe I - Composition des trains 49800 et 88807 .....	90
4.2	Annexe II - Photos illustrant la visibilité prises le 22 février 2018.....	91
4.3	Annexe III - Photos des essais en laboratoire de la pédale de contresens .....	93
4.4	Annexe IV - Extraits des valeurs enregistrées lors des essais de la pédale de contresens .....	94
4.5	Annexe V - Résumé de la chronologie de l'accident .....	98
4.6	Annexe VI - Extrait de la fiche de maintenance de l'installation au sol Memor II+ au SFAv Adm.....	99
4.7	Annexe VII - Extrait de la fiche de maintenance de l'installation au sol Memor II+ au SFP Dm .....	101
4.8	Annexe VIII - Extrait de l'instruction de service commune - IF/MT N°29 -chapitre 6 prescriptions relatives à la pose et à l'entretien des crocodiles .....	103
4.9	Annexe IX - Fiche Merkblatt - Instandhaltungsfristen für Elektrische Zugbeeinflussungsanlagen (I.S.C. IF/MT N° 29).....	107

## GLOSSAIRE

<b>ACF</b>	Administration des chemins de fer
<b>AET</b>	Administration des enquêtes techniques
<b>ARAMIS</b>	Advanced rail automation management and information system
<b>ATESS</b>	Acquisition et traitement des événements de sécurité en statique
<b>BAL</b>	Block automatique lumineux ordinaire
<b>BP-OE</b>	Bouton poussoir inhibition Memor II+
<b>BP-Vigilance</b>	Bouton poussoir vigilance
<b>CDS</b>	Comité Directeur Sécurité
<b>CO</b>	Centre Opérationnel
<b>CFL</b>	Société nationale des chemins de fer luxembourgeois
<b>CG</b>	Conduite générale de frein
<b>CIN</b>	Centre d'intervention national
<b>Dispo CO</b>	Disposition du Centre opérationnel (Commande du personnel conducteur du matériel roulant)
<b>EF</b>	Entreprise ferroviaire
<b>ETCS</b>	Système européen de contrôle des trains (european train control system)
<b>GSM-R</b>	Global system for mobile communications – Railways
<b>IPCS</b>	Installations permanentes de contresens
<b>LS</b>	Lampe de signalisation
<b>LS-SF</b>	Lampe de signalisation signal fermé
<b>LS-DF</b>	Lampe de signalisation défaut Memor II+
<b>Memor II+</b>	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
<b>PAT</b>	Personnel d'accompagnement des trains
<b>PDC</b>	Poste Directeur Centre de Bettembourg
<b>PDCA</b>	Méthode itérative de gestion de la qualité pour l'amélioration continue des processus, produits ou services (plan, do, check, act)
<b>PDT</b>	Poste Directeur du Triage de Bettembourg
<b>p.k.</b>	Point kilométrique
<b>QSE</b>	Qualité Sécurité et Environnement
<b>RGE</b>	Règlement générale d'exploitation
<b>RGEF</b>	Règlement Générale de l'Entreprise Ferroviaire CFL
<b>Réseau ferré national</b>	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
<b>RST</b>	Système de communication radio sol-train
<b>RSS</b>	Régulateur sous-stations
<b>RPS</b>	Répétition des signaux
<b>SGS</b>	Système de gestion de la sécurité
<b>SMS</b>	Système de management de la sécurité
<b>SNCF</b>	Société nationale des chemins de fer français
<b>SNCB</b>	Société nationale des chemins de fer belges
<b>Sibelit S.A.</b>	Société de l'Itinéraire Benelux-Lorraine-Italie S.A.
<b>SFAv</b>	Signal fixe avancé
<b>SFAv1</b>	Signal fixe avancé en position d'avertissement
<b>SFAv2</b>	Signal fixe avancé en position d'annonce à distance de voie libre
<b>SFAv3</b>	Signal fixe avancé en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse
<b>SFAvI</b>	Signal fixe avancé indicateur de vitesse
<b>SFAVI</b>	Signal fixe annonciateur de vitesse-infrastructure
<b>SFE</b>	Signal fixe d'entrée
<b>SFP</b>	Signal fixe principal
<b>SFI</b>	Signal fixe indicateur de vitesse
<b>SFH</b>	Signal fixe «Halte pour trains»
<b>SFP1</b>	Signal fixe principal en position d'arrêt

<b>SFP2</b>	Signal fixe principal en position de voie libre
<b>SFP3</b>	Signal fixe principal en position de voie libre avec limitation de la vitesse
<b>SFVb</b>	Signal fixe de barrage
<b>SMA</b>	Signal mobile d'arrêt
<b>SMR/A</b>	Signal mobile annonceur de ralentissements temporaires
<b>TCO</b>	Tableau de commande optique
<b>TER</b>	Train express régional
<b>TER2N-ng</b>	Train express régional à deux niveaux de nouvelle génération (série 2200 CFL)
<b>TM</b>	Train de marchandises
<b>UM</b>	Unité multiple
<b>VdL</b>	Ville de Luxembourg
<b>WhatsApp</b>	Application mobile de système de messagerie en ligne instantanée
<b>Z-Memor</b>	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.

Une analyse approfondie des causes ayant menées à la collision a été réalisée.

Deux facteurs majeurs ayant mené à la collision ont pu être déterminés. Le premier est le facteur humain, le conducteur du TER n'ayant pas réagi à la position de la signalisation et le deuxième est de nature technique et se situe au niveau de la partie au sol du système Memor II+, laquelle n'a pas fonctionné correctement.

Suite à cet évènement, des mesures préventives et correctives ont été prises par le gestionnaire d'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 les conclusions 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.

Le 19 février 2018, un rapport d'étape décrivant le déroulement de l'accident ainsi que les premières constatations a été rendu public par l'AET.

À l'issue de l'enquête de sécurité 7 recommandations viennent compléter la liste :

- trois concernent la réglementation à respecter par le personnel ferroviaire ;
- trois concernent le système Memor II+, respectivement les installations de sécurité ferroviaires ;
- une concerne l'ajout de la vidéosurveillance frontale sur le matériel roulant.

# 1 Données de l'accident

## 1.1 Déroulement 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 dernier signal fixe principal (SFP) Dm (p.k. 1,849), le conducteur de train engage un freinage.

Le TER, passe le SFP Dm en position d'arrêt avec une vitesse de 131 km/h.

Le train de marchandises franchit en amont de la frontière, le SFAv 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 SFP 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<sup>1</sup>. Au même moment, il reçoit un appel téléphonique de la part du régulateur sous-stations<sup>2</sup> (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 Memor II+ en service.

## 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 se sont rendus sur le site de l'accident, situé à une quinzaine de kilomètres des bureaux de l'AET. Ils sont arrivés sur le site de l'accident vers 10h30.

Au vu de probables victimes ainsi que des très importants dommages constatés, il a immédiatement été décidé qu'une enquête de sécurité, conformément à la loi modifiée du 30 avril 2008 portant création de l'AET respectivement au chapitre 5 de la Directive 2004/49 de la Commission Européenne concernant la sécurité des chemins de fer communautaires, allait être ouverte. Une notification a été envoyée à l'ERA l'informant de l'ouverture d'une enquête ainsi que des premières constatations.

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

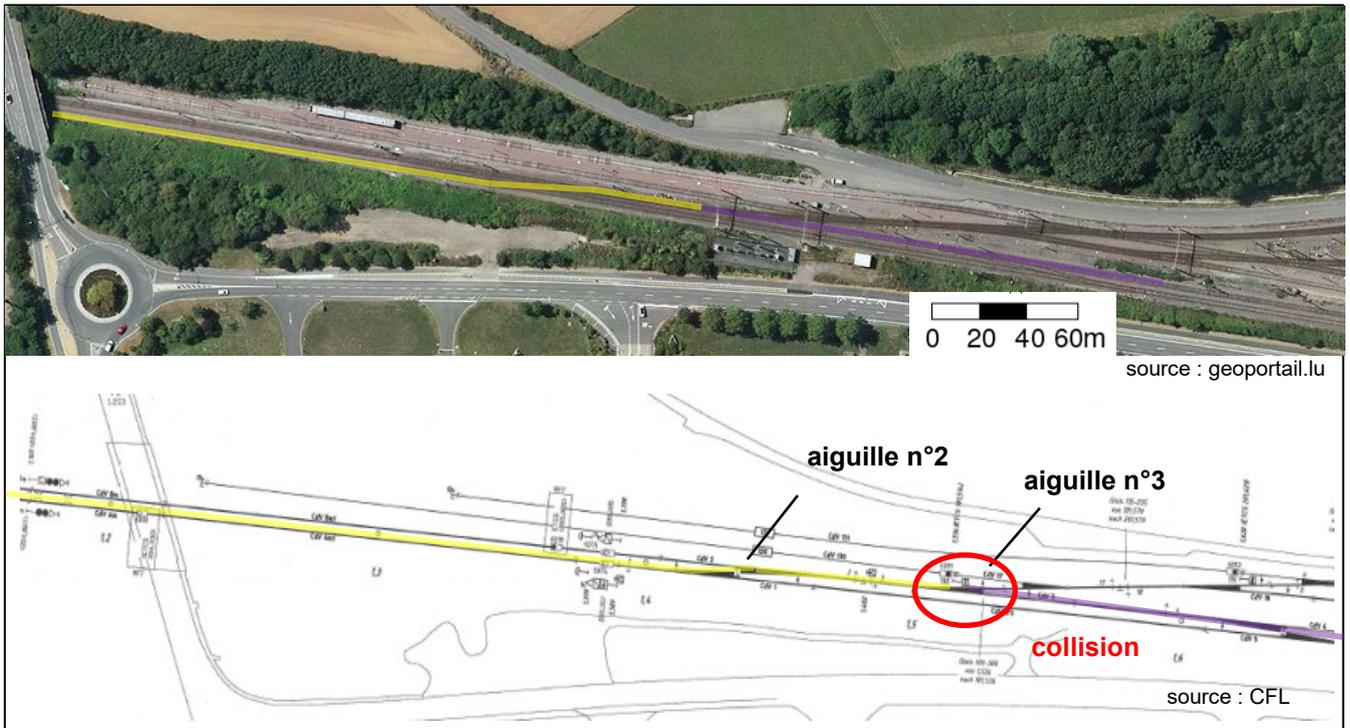
La collision a eu lieu au Sud du Luxembourg, à Dudelange, à hauteur de l'aiguille 3 du secteur « Bettembourg - Daereboesch », environ 1,5 km en amont de la frontière française.

Le trafic journalier sur cette partie du réseau en janvier 2017 était d'environ 160 trains pendant la semaine et d'environ 70 trains les samedis et dimanches.

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

<sup>1</sup> On désigne par talonnage d'une aiguille, son franchissement par une branche dans le sens talon-pointe, alors que les lames sont disposées pour le franchissement par l'autre branche.

<sup>2</sup> Installation comprenant les arrivées des lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique, ainsi que les appareils de transformation et de distribution destinés à alimenter le réseau de traction électrique dans la tension correspondant au système d'électrification.



## 1.4 Les Services de secours

L'accident ayant eu lieu à hauteur d'une zone industrielle, l'alerte a été donnée quelques instants après l'impact. Au vu de l'envergure de l'accident, la décision de déclencher le plan « nombreuses victimes » a été immédiatement prise. Plus tard la police, les pompiers ainsi que les sauveteurs sont arrivés sur le lieu de l'accident où un périmètre de sécurité a été mis en place. Après s'être assuré de la coupure de la tension, les services de secours ont commencé la recherche d'éventuelles victimes. Il a été constaté que l'accompagnateur de trains se trouvait seul dans l'une des deux dernières caisses du train. Les recherches se sont alors focalisées au niveau de la première caisse où, au vu des dommages très importants, il était impossible de définir le nombre d'éventuelles victimes encastrées dans les débris.

## 1.5 Coopération avec les forces de l'ordre et les autorités judiciaires

Au vu du cadre légal et de la double mission d'investigation de l'autorité judiciaire et de l'AET, il a été décidé dans l'après-midi du 14 février 2017, d'un commun accord entre le parquet, le cabinet d'instruction du tribunal d'arrondissement de Luxembourg et l'AET, des modalités à suivre en ce qui concerne les prochaines étapes à effectuer afin d'honorer les missions des deux parties dans la collecte des données et pièces à conviction.

## 1.6 Sources d'informations

Les sources d'informations considérées dans le cadre de cette enquête de sécurité sont :

- les informations collectées le jour de l'accident par les enquêteurs de l'AET ;
- les informations collectées lors des visites des lieux ;
- les procès-verbaux de la police judiciaire et de la police technique ;
- la réglementation ferroviaire en vigueur ;
- les données de l'enregistreur d'informations de sécurité ;
- les données des enregistreurs d'évènements ;
- les déclarations du conducteur du train de marchandises ;
- les informations reçues par les CFL ;

- les reconstitutions et simulations effectuées tout au long de l'enquête ;
- les analyses effectuées respectivement ordonnées par l'AET.

## 1.7 Pertes humaines, personnes blessées

		tué(s)	blessé(s)	indemne(s)
<b>TM 49800</b>	personnel	0	1	0
	voyageurs	0	0	0
<b>TER 88807</b>	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.

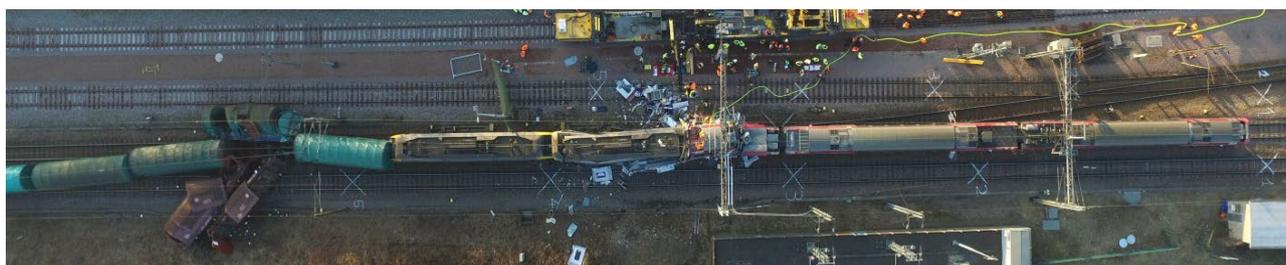
Il n'y a pas eu d'autres personnes impliquées dans l'accident, ni dans les deux trains ni sur les voies.

## 1.8 Dommages matériels

Les dommages ont été importants, au vu des vitesses et masses relativement élevées des deux trains. Lors de l'impact, une bonne partie de l'énergie libérée 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. Au moment de l'impact, la locomotive s'est soulevée pour venir s'encaster 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. Au vu des dégâts importants, toutes les caisses de l'automotrice de type TER2N-ng et les 2 locomotives du train fret ont été déclassées.



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.

Au niveau des aiguilles n°2 et n°3 le gestionnaire d'infrastructure (GI) a dû remplacer :

- le moteur de commande ;
- le contrôleur de lames ELP ;
- le boîtier de distribution ;
- le boîtier de commutation ;
- les tringles pour verrous de contrôle ;
- le balancier de calage (KSV) ;
- certains éléments endommagés du système de réchauffage d'aiguilles et des fixations.

Au niveau des circuits de voie, le câblage, les connexions au rail, des boîtiers de distribution ainsi que divers fusibles de surtension ont dû être remplacés.

## 1.9 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 ;
- lever du soleil: 07h47.

## 2 Compte rendu des investigations et enquêtes

### 2.1 Résumé des témoignages

Les récits des témoignages ci-dessous ont été rédigés par les enquêteurs de l'AET sur base des déclarations faites. Il n'a été retenu que les éléments exposés qui paraissaient utiles à l'éclaircissement des actions des acteurs et leur perception du déroulement des événements. Il peut y avoir des divergences entre ces déclarations et des faits ou constatations présentés dans ce rapport.

#### 2.1.1 Le conducteur du train de marchandises 49800

Une entrevue a eu lieu le 17 mars 2017 entre les enquêteurs de l'AET et le conducteur du train de marchandises 49800 en présence d'un responsable SNCF.

*Le conducteur nous informe que le jour de l'accident il prend son service vers 06h55 au dépôt de Thionville, où il commence par accoupler les 2 locomotives pour ensuite faire la mise en tête afin de pouvoir rouler en unité multiple<sup>3</sup>. Il connaît bien l'itinéraire, étant donné qu'il l'effectue régulièrement. Il était prévu qu'il conduise le convoi jusqu'à Monceau en Belgique. Il déclare avoir pris un peu de retard ne sachant pas à la prise de service que la mise en unité multiple devait encore être réalisée. Il était prêt au départ avec environ 10 minutes de retard par rapport à son itinéraire. Il a dû ensuite laisser passer plusieurs TER ce qui a augmenté son retard. Il estime être parti avec environ une demi-heure de retard. Il est parti à vitesse modérée en direction de la frontière. La visibilité était très bonne. Il aperçoit le SFAv Aam situé en amont de la frontière en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse 60 (60 km/h) et adapte en conséquence la vitesse du convoi. Avant la frontière, en raison du sectionnement, il abaisse le pantographe et roule sur l'erre<sup>4</sup> pendant un bref instant pour ensuite, après avoir passé la frontière, remonter le pantographe. Le système Memor II+ est activé, le basculement entre le système de sécurité français KVB (contrôle de vitesse par balises) et le système Memor II+ se faisant automatiquement. Il respecte la limitation de vitesse. Il aperçoit le SFP Am toujours avec indication de limitation de vitesse 60. Peu avant le premier aiguillage, il aperçoit les lames d'aiguilles en position de voie déviée. En relevant le regard il aperçoit le TER 88807 venir vers lui. Il regarde à nouveau les aiguilles et se rend compte que son parcours est correctement tracé. Il relève le regard, constate que le TER ne va pas s'arrêter, la vitesse étant trop élevée et que la collision est inévitable. Il se lève, à partir de cet instant tout va très vite. Il a une main sur la poignée de traction et l'autre sur le manipulateur de pantographe. Par reflexe il quitte la cabine et est secoué lors du passage de la première aiguille. A hauteur de la deuxième aiguille, il y a collision. Il tombe au milieu du couloir. Blessé il arrive à se lever et est secouru rapidement par des personnes se trouvant sur les voies venues en aide. L'ambulance arrive quelques 20 minutes plus tard.*

#### 2.1.2 Collègues de travail

Deux collègues de travail du conducteur du TER 88807 ont rapporté quelques semaines après l'accident avoir constaté dans l'application de messagerie instantanée « WhatsApp » de leur téléphone portable que le profil du numéro privé du conducteur de train TER avait le statut « last seen 14 February, 08:47 »

---

<sup>3</sup> « unité multiple » : commande assurée depuis un seul poste de conduite et tracté par 2 locomotives (double traction).

<sup>4</sup> « rouler sur l'erre » : rouler sans propulsion.

## **2.2 Système de gestion de la sécurité ferroviaire**

### **2.2.1 Cadre législatif**

La directive européenne 2004/49 sur la sécurité de l'exploitation ferroviaire prescrit que tout gestionnaire d'infrastructure et entreprise ferroviaire doit établir un système de gestion de la sécurité (SGS) garantissant la maîtrise de tous les risques créés par ses activités ferroviaires.

Ce SGS vise notamment à bien connaître et à évaluer en permanence la situation et l'évolution des risques et de la sécurité sur le terrain, afin de prendre des mesures préventives utiles pour éviter les accidents. L'examen du fonctionnement du SGS constitue donc une composante essentielle de toute analyse d'accident.

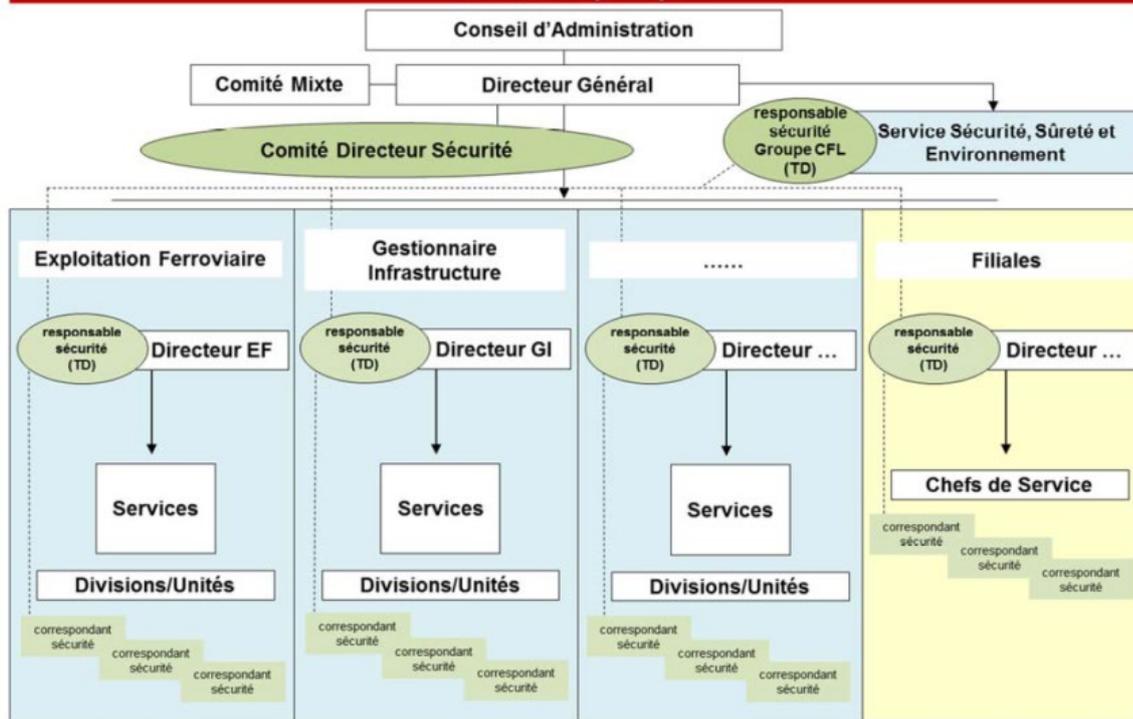
### **2.2.2 Gestion de la sécurité au niveau du Groupe CFL**

Le Groupe CFL a mis en place en 2008 un réseau nommé « réseau sécurité » composé principalement de :

- « responsables sécurité » rattachés aux directeurs respectifs (CFL GI, CFL EF, etc.) et assurant la fonction de travailleur désigné conformément à l'article L-311-2 du Livre III du Code du Travail ;
- « correspondants sécurité » ayant comme mission au niveau des services de supporter les missions des responsables sécurité afin de mettre en œuvre la stratégie définie au niveau de la direction.

Au niveau de la direction, le Comité Directeur Sécurité (CDS) est l'organe supérieur ayant comme mission de pérenniser la culture sécurité. Il est composé des directeurs respectifs et des chargés de gestion des différents services. Il est présidé par le Comité des Directeurs sous l'autorité et la responsabilité du directeur général.

L'ordre général N°14 « *organisation de la sécurité du groupe CFL* » définit l'organisation dans le domaine de la sécurité au sein du Groupe CFL ayant pour but en premier lieu de garantir la sécurité et la santé des agents et salariés ainsi que des utilisateurs.



TD: travailleur désigné

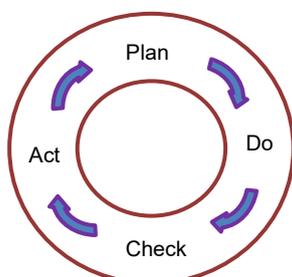
Extrait : Ordre général N°14- organisation de la sécurité du groupe CFL - chapitre 2, page 7

Le schéma ci-dessus illustre la structure globale du réseau sécurité au sein du groupe CFL. Le document résume les tâches liées à la sécurité pour chaque niveau hiérarchique.

### 2.2.3 Gestion du risque ferroviaire au niveau du GI

La gestion des risques a pour but de prévenir l'apparition d'évènements indésirables et, en cas de survenance d'un tel évènement, à l'identifier, à en analyser les causes, à en atténuer ou à en supprimer les effets dommageables pour tous les acteurs ferroviaires et à mettre en œuvre les mesures permettant d'éviter qu'il ne se reproduise.

En se basant sur la méthode PDCA (Plan, Do, Check, Act), le GI gère le risque ferroviaire. Il s'agit d'une méthode de démarche cyclique d'amélioration de la sécurité qui consiste, à la fin de chaque cycle, à remettre en question toutes les actions précédemment menées afin de les améliorer. Ces derniers peuvent être interprétés de la façon suivante :



- Plan : Préparer, planifier ;
- Do : Développer, réaliser, mettre en œuvre ;
- Check : Contrôler, vérifier ;
- Act : Agir, ajuster, réagir.

## 2.2.4 Attribution des responsabilités en matière de gestion du risque ferroviaire par le GI

Le tableau ci-après illustre la mise en pratique de la méthode PDCA au sein du GI :

Désignation des responsables par étape et selon la source des dangers identifiés	Analyse systématique à intervalle régulier	Analyse en relation avec des propositions de modifications	Analyse des risques suite aux incidents, accidents ou presque accidents	Analyse des risques suite aux dangers signalés par le personnel, les partenaires, les clients ou les tiers
Reconnaissance des dangers	Groupe de travail mis en place par GI/QSE-SMS	Groupe de travail mis en place par le service "proposant" d'entente avec GI/QSE	Service(s) impliqué(s)	Personnel, partenaire, client ou tiers
Evaluation des dangers			Service(s) impliqué(s) d'entente avec la cellule GI/QSE	Service(s) concerné(s) d'entente avec cellule GI/QSE
Elaboration et préparation de mesures d'amélioration	Personnel des services concernés participant à l'élaboration des mesures d'amélioration en collaboration avec la cellule GI/QSE			
Ordonnance des mesures d'amélioration	Selon l'urgence et l'importance des mesures ainsi que leur conséquence financière, celle-ci sont ordonnées comme suit: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure en cas de danger imminent: Pas d'accord préalable exigé</li> <li>- Mesure rentrant dans la compétence de la ligne hiérarchique: Accord du chef hiérarchique</li> <li>- Mesure rentrant dans la compétence de la direction GI: Accord du Directeur GI</li> </ul>			
Réalisation des mesures d'amélioration	Personnel des services concernés auquel l'exécution des mesures d'amélioration a été ordonnée; GI/QSE-SMS suit l'exécution des mesures et tient le registre des dangers			
Surveillance/Contrôle d'efficacité	Selon plan de surveillance du GI			
Tenue du registre des dangers	GI/QSE-SMS			
Evaluation indépendante de l'analyse des risques	En cas de changement qualifié comme "significatif" le GI fait appel à un organisme d'évaluation externe reconnu répondant aux critères de l'annexe II du règlement 402/2013/CE			

Extrait: Manuel de gestion de la sécurité ferroviaire CFL-GI –chapitre 4.4 Gestion du risque ferroviaire

## 2.3 Les itinéraires

L'itinéraire du train de marchandises 49800 était correctement établi<sup>5</sup>. 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 marchandises 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.

<sup>5</sup> 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.

Il est à noter que conformément aux exigences de la législation nationale sur la protection des données, les engins moteurs n'étaient pas équipés de caméras frontales, lesquelles auraient pu fournir des renseignements importants sur le déroulement de l'accident, ainsi que sur les conditions extérieures.

## 2.4 Signalisation

La circulation des trains est fondée sur la transmission des informations liées à la sécurité du sol au conducteur d'engin moteur. Cette transmission est assurée sur le réseau ferré national par la signalisation latérale pour les trains circulant avec le système Memor II+. Les trains circulant sous ETCS ont une signalisation en cabine.

Il est à noter que sur le réseau ferré luxembourgeois, la signalisation est assurée par une signalisation au sol, suivant le règlement général d'exploitation technique (RGE) livre 2.

Les voies de pleines lignes sont tronçonnées en « sections de block » dont les SFP représentent les limites.

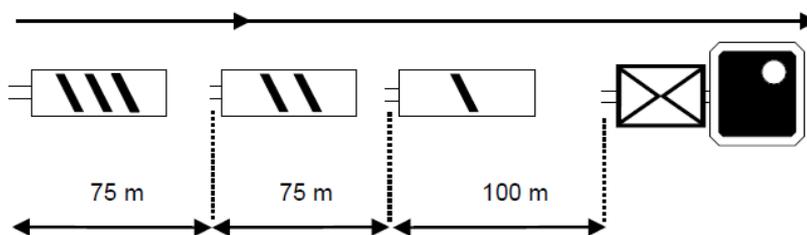
La position du SFP est annoncée au conducteur par un SFAv. En règle générale, la distance entre les SFAv et les SFP correspondants est au moins égale à la distance d'arrêt prévue pour la ligne ou le tronçon de ligne considéré.

Le livre 2 du RGE définit la réglementation des signaux et repères sur le réseau ferré national. Ces signaux constituent des signes conventionnels ayant pour but de donner aux agents des ordres, autorisations ou renseignements en rapport avec la sécurité et la régularité de la circulation sur la voie ferrée.

Les paragraphes suivants se limitent à la signalisation rencontrée par les 2 conducteurs de train et ayant joué un rôle lors de l'accident.

### 2.4.1 Mirlitons

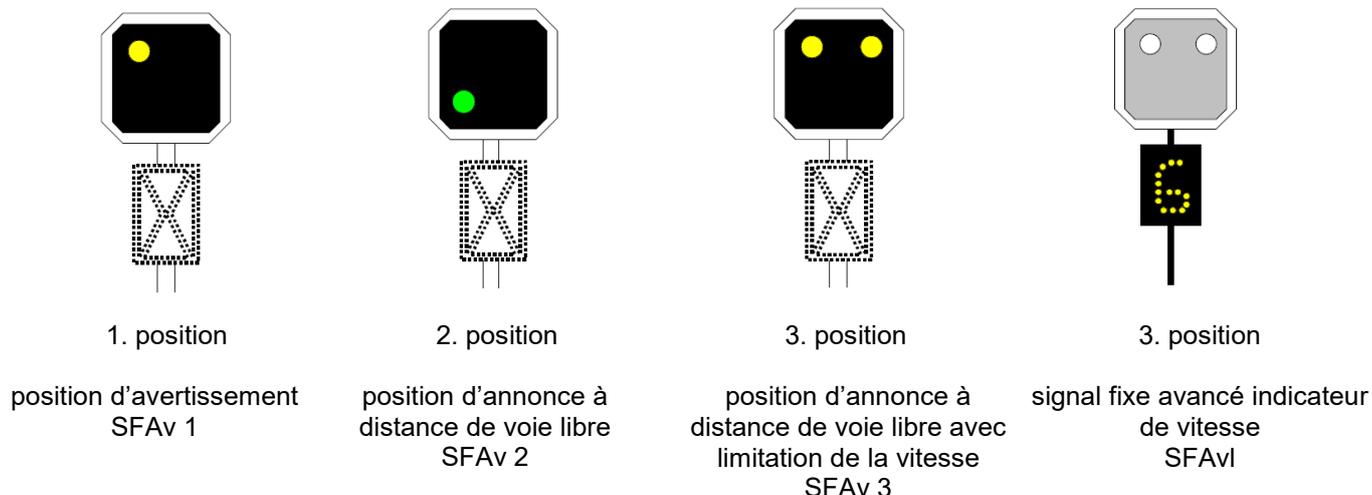
Trois signaux blancs rectangulaires ou carrés portant une, deux ou trois bandes obliques en noir précèdent les SFAv. Ils ne sont pas éclairés. Ils indiquent aux conducteurs la rencontre imminente d'un SFAv.



Le schéma ci-dessus décrit l'espacement entre mirlitons et le SFAv.

## 2.4.2 Signal fixe avancé (SFAv)

Les signaux fixes avancés (SFAv) informent les conducteurs de train sur la position des signaux fixes principaux (SFP) correspondant qu'ils vont rencontrer, afin qu'ils puissent adapter la conduite en conséquence.



Le SFAv 1 indique au conducteur de train qu'il va rencontrer le SFP ou SFVb correspondant en position d'arrêt, un SFH ou un SMA. Il doit immédiatement prendre les dispositions utiles pour être en mesure de s'arrêter devant un signal fixe ou mobile à l'arrêt.

Le SFAv 1 peut aussi annoncer un signal fixe de barrage en position d'arrêt (SFVb 1), un signal fixe « Halte pour trains » (SFH) ou un signal mobile d'arrêt (SMA).

Le SFAv 2 indique au conducteur qu'il va rencontrer le SFP correspondant en position de voie libre. Il prend ses dispositions pour franchir le SFP correspondant à la vitesse admise.

Le SFAv 3 indique au conducteur qu'il va rencontrer le SFP correspondant en position de voie libre avec limitation de vitesse à :

- 40 km/h, si le SFAv 3 n'est pas complété d'un signal fixe avancé indicateur de vitesse lumineux (SFAvI) ou que le signal fixe avancé indicateur de vitesse lumineux (SFAvI) soit éteint ;
- la vitesse indiquée par le signal fixe avancé indicateur de vitesse lumineux (SFAvI) complétant le SFAv 3 (p.ex. : le chiffre 6 indique que la vitesse à respecter est 60 km/h).

SFAvI n'est pas utilisé en combinaison avec le SFAv 1 et SFAv 2.

Le repère RF 3 peut :

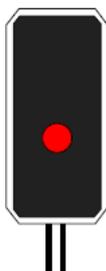
- indiquer l'emplacement d'un signal fixe avancé (SFAv) ;
- remplacer un signal fixe avancé (SFAv) ;
- annoncer un signal fixe d'entrée (SFE).



Tableau de repérage ou de substitution des SFAv (RF3)

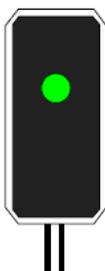
### 2.4.3 Signal fixe principal (SFP)

Les signaux fixes principaux (SFP) indiquent aux conducteurs s'ils sont autorisés à pénétrer dans la section de ligne en aval du signal. En position normale (pas d'itinéraire tracé), les SFP sont en règle générale en position d'arrêt.



1. position

position d'arrêt  
SFP1



2. position

position de voie libre  
SFP2



3. position

position de voie libre  
avec limitation de la  
vitesse  
SFP3



3. position

position de voie libre avec  
limitation de la vitesse  
SFP3 combiné au signal  
fixe indicateur de vitesse  
SFI

Le SFP 1 indique au conducteur de train qu'il doit s'arrêter devant le signal. Cependant lorsqu'un ordre écrit est donné, il peut être franchi en respectant la vitesse de 40 km/h.

Le SFP 2 indique au conducteur de train qu'il peut franchir le signal, en respectant la vitesse-infrastructure de la ligne ou du tronçon de ligne.

Le SFP 3 indique au conducteur de train qu'il peut franchir le signal en respectant la limitation de vitesse. Les limitations de vitesse sont les suivantes :

- 40 km/h, si le SFP 3 n'est pas complété d'un signal fixe indicateur de vitesse (SFI) ou si le signal fixe indicateur de vitesse lumineux est éteint ;
- la vitesse indiquée par le signal fixe indicateur de vitesse (SFI) complétant le SFP 3.

Le SFI combiné avec le SFP 3 indique au conducteur de train qu'il peut franchir le signal mais doit respecter la vitesse maximale égale au chiffre indiqué par le panneau multiplié par 10 (p.ex. : 6 = 60 km/h).

### 2.5 Derniers signaux rencontrés par les deux trains avant la collision

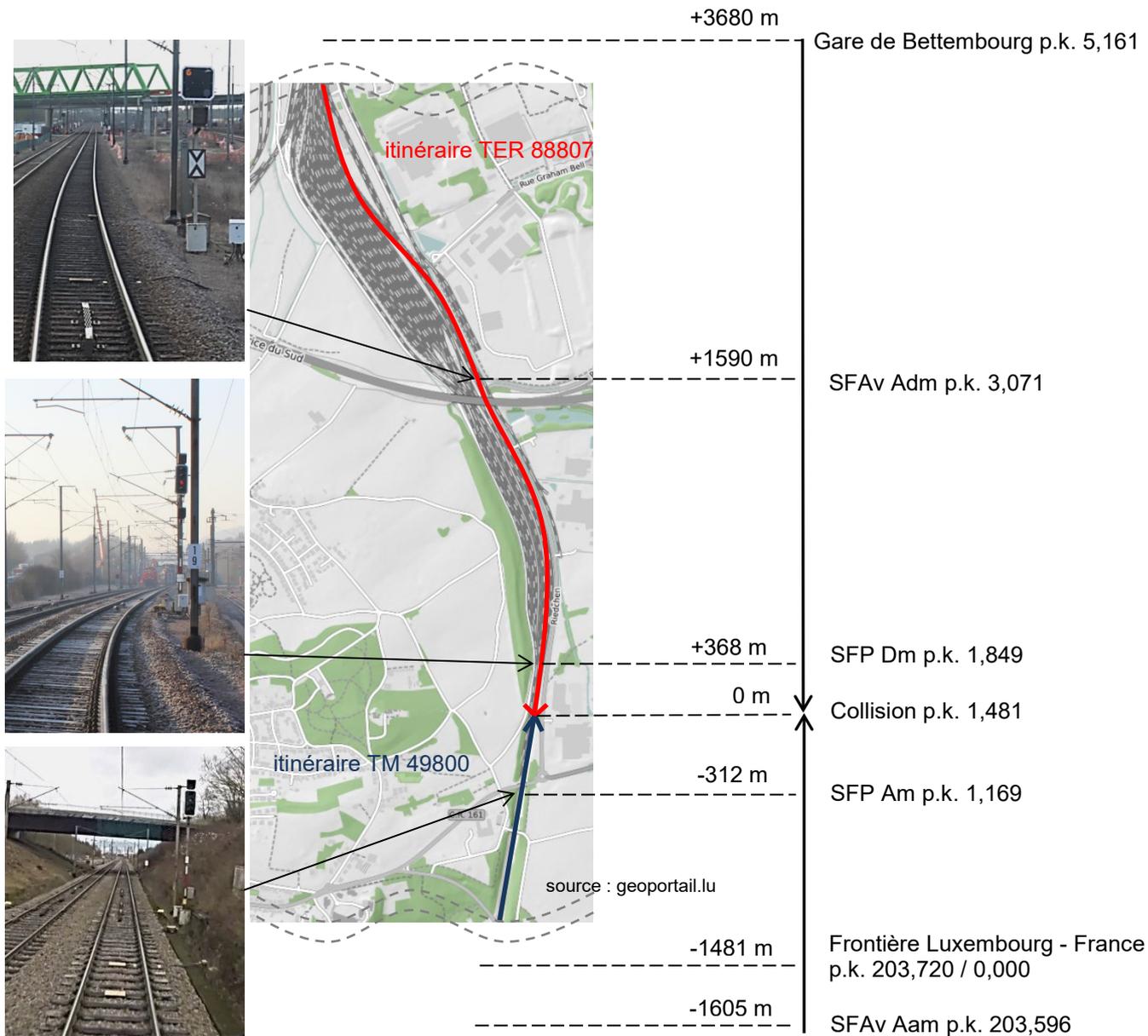
Les deux derniers signaux rencontrés par les 2 trains avant la collision ont été déterminants pour le déroulement de l'accident.

Le TER 88807 passe d'abord le SFAv Adm en position d'avertissement, précédé de 3 mirlitons, 1590 m en amont du lieu d'impact, puis le SFP Dm en position d'arrêt, 368 m en amont du lieu d'impact.

Le train de marchandises 49800 passe d'abord le SFAv Aam en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse (60km/h), situé sur le réseau ferré français, précédé de 3 mirlions, 1605 m en amont du lieu d'impact, puis le SFP Am en position de voie libre avec limitation de la vitesse (60 km/h), 312 m en amont du lieu d'impact.

Il est à noter que les SFAv informent les conducteurs de train sur la position des SFP 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 SFP en position d'arrêt.

## 2.6 Itinéraires (TER 88807 et TM 49800)

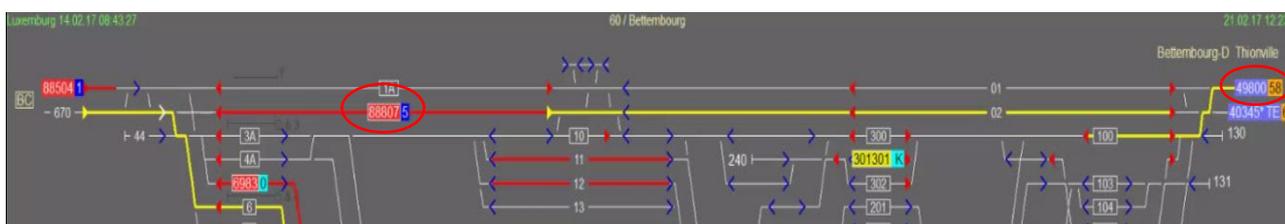


Il est à noter qu'en ce qui concerne l'itinéraire du TER, une courbe à droite limite légèrement le champ de vision, entre le SFAv Adm et SFP Dm. Le SFP Dm est visible de façon claire sur une distance de plus de cent mètres.

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

## 2.7 Extrait du logiciel d'information du trafic ferroviaire ARAMIS

ARAMIS est un système d'information qui, d'une part, met à disposition les données théoriques des horaires des trains journaliers et d'autre part, renseigne en temps réel sur l'état de la circulation des trains. Le gestionnaire d'infrastructure, les entreprises ferroviaires ainsi que les usagers sont ainsi informés des retards éventuels des trains. Il a été mis en service au Luxembourg en décembre 2015.



source : CFL

L'extrait ci-dessus montre la section de voie occupée par le TER 88807 (ligne rouge) ainsi que les itinéraires établis (lignes jaunes) des deux trains. On peut voir que l'itinéraire du TER est tracé jusqu'au SFP Dm et celui du TM 49800 prévoit l'entrée dans la zone de triage. 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. De plus les SFAV ne sont pas indiqués.

Les lignes jaunes représentent les itinéraires établis et les lignes rouges représentent l'occupation de la section de voie.

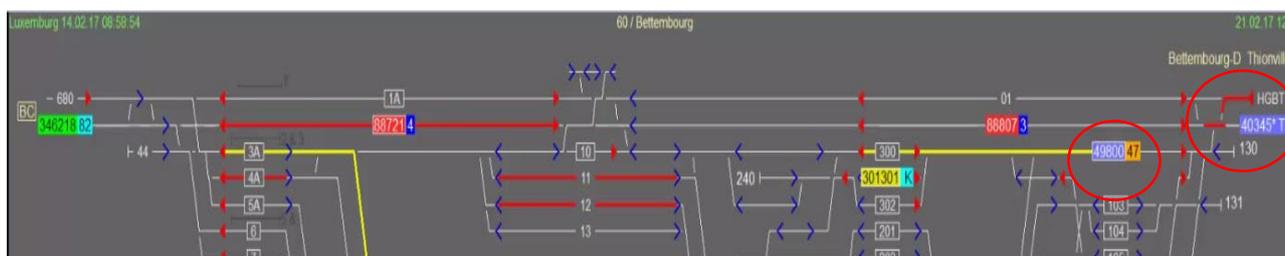
Les flèches rouges représentent les SFP en position d'arrêt. Les flèches jaunes représentent les SFP en position de voie libre ou en position de voie libre avec limitation de la vitesse. Les flèches bleues représentent les signaux de manœuvre en position d'arrêt. Les flèches blanches représentent les signaux de manœuvre en position de voie libre.

L'identifiant du train ainsi qu'une indication du retard/avance en temps réel sont inclus dans la représentation graphique.



source : CFL

L'extrait ci-dessus montre quelques secondes avant la collision l'occupation des voies ainsi que la position des signaux.



source : CFL

Extrait du logiciel 13 minutes après la collision.

## 2.8 Matériel roulant

### 2.8.1 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 I. 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<sup>6</sup> de CFL Cargo pour le parcours sur le réseau ferré national.

### 2.8.2 Train express régional 88807

Le TER, opéré par les EF CFL (sous le certificat de sécurité de l'EF CFL pour le parcours sur le réseau ferré national), était composé d'une automotrice électrique tri-caisses de série 2200 (type TER2N-ng). L'itinéraire du train prévoyait le départ à Luxembourg (08h27) suivi d'un arrêt commercial à Bettembourg et à Hettange-Grande avec une arrivée finale à Thionville (08h55). 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
constructeurs	Alstom	Alstom, Bombardier
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

<sup>6</sup> Certificat attribué par le membre du gouvernement ayant les transports dans ses attributions à l'entreprise ferroviaire, l'autorisant à circuler sur la partie du réseau ferré national.

## **2.9 Les conducteurs de trains**

### **2.9.1 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.

### **2.9.2 Le conducteur du TER 88807**

Le conducteur était âgé de 43 ans. De nationalité luxembourgeoise, il était employé par les CFL. Il a 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. L'accompagnateur a déclaré qu'il portait des lunettes de vue claires peu avant le départ.

## **2.10 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.

## **2.11 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 d'infrastructure, sont entre autres chargées de la maintenance ainsi que de la régulation du trafic.

## 2.11.1 Données de l'infrastructure ferroviaire

paramètres	données, valeurs
<b>distance</b>	
Luxembourg – Bettembourg – frontière	16,6 km
<b>tracé</b>	
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
<b>exploitation</b>	
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
<b>signalisation et sécurité</b>	
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 30.06.2017 <sup>7</sup> )
installations de sécurité	commandes et contrôles électroniques et électriques
<b>télécommunications</b>	
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
<b>énergie de traction</b>	
système	caténaire alimentée en courant alternatif 2 x 25 kV à 50 Hz
type caténaire	type 85 SNCF

source : document de référence du réseau 2017-ACF

<sup>7</sup> Cette date limite a été prolongée au 31.12.2019 au cours de l'année 2017.

### **2.11.2 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 SFP 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 à utiliser ce système sur le réseau ferré français. Pour cette raison, l'automotrice circulait avec le système Memor II+ en service sur le parcours vers la frontière française.

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, sans qu'il n'y ait de contact mécanique entre les composants du système intégrés au matériel roulant et ceux de l'infrastructure. 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.

### **2.12 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 tracés. 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.

Il est important de noter qu'en cas d'avarie à un composant du système Memor II+, il n'existe pas de moyens techniques informant automatiquement les agents du poste de signalisation d'une avarie, hormis dans le cas d'une notification par un conducteur de train ou par un agent de dépôt d'attache (contrôle des enregistrements), respectivement un agent de maintenance ayant constaté une avarie sur place.

## **2.13 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 et privé est interdite pendant la conduite.

## **2.14 Règles et réglementations**

### **2.14.1 RGEF 09 « conduite et accompagnement des trains »**

Le Règlement général de l'Entreprise Ferroviaire CFL (RGEF) 09 est un règlement interne qui définit les règles de travail que le personnel de bord doit respecter. Les paragraphes ci-après traitent des sujets ayant à différents degrés joués un rôle lors de l'accident. La version du RGEF prise en compte dans le présent rapport est celle en vigueur le jour de l'accident.

#### **2.14.1.1 Réglementation sur l'utilisation du GSM**

L'article 2.6.9 « *Utilisation du GSM de service par le personnel de l'EF* » stipule que :

*« Un GSM de service est remis aux conducteurs et aux agents PAT des CFL à titre personnel pour un usage professionnel. Les conducteurs et les agents PAT doivent porter leur GSM de service sur eux et doivent s'assurer que leur GSM de service soit en bon état de fonctionnement. Si exceptionnellement un GSM de service n'est pas opérationnel, ceci ne constitue pas un motif pour ne pas assurer un train.*

*Pendant les tâches liées à la conduite, le conducteur doit mettre son GSM en mode silencieux avec la fonction vibreur désactivée et le placer hors champ de vision.*

*Le conducteur et l'agent PAT peuvent recevoir des SMS liés au service. La consultation de la boîte vocale ou des SMS doit se faire :*

*- pour le conducteur:*

- hors des tâches liées à la conduite ;*

- pour l'agent PAT:
  - hors des tâches liées à l'exploitation technique.

Les mêmes conditions sont à respecter lorsqu'un SMS de service est à rédiger et à expédier.

Il est interdit d'utiliser les fonctions E-mail, Internet, réseaux sociaux (Facebook, Twitter, etc.), vidéo (YouTube, etc.), jeux, etc.

Il est interdit d'écouter de la musique, ni par écouteurs, ni par haut-parleurs intégrés.

...

En cas d'incident/accident, le conducteur remettra son GSM de service en mode vibreur afin de pouvoir être contacté le cas échéant. Cette mesure est limitée à la durée de l'incident/accident... »

En ce qui concerne le GSM privé, l'article 2.6.10 « Utilisation du GSM privé par le personnel de bord de l'EF » stipule que :

« Pour le conducteur le GSM privé est interdit et il doit être éteint pendant les tâches liées à la conduite.

Pour l'agent PAT, le GSM privé respectivement la tablette numérique privée sont autorisés pour la consultation de documents professionnels numériques (avis, notes, LMT, etc.) mémorisés sur l'appareil en question. Ces consultations doivent impérativement avoir lieu en dehors des tâches liées à l'exploitation technique. Pendant l'exécution des tâches liées à l'exploitation, le GSM privé respectivement la tablette numérique privée sont à mettre en mode « Flight mode / Flugmodus / mode avion » ».

#### **2.14.1.2 Réglementation sur la connaissance de ligne**

L'article 3.2 « Acquisition de la connaissance de la ligne » stipule que :

« La connaissance ligne fait partie de la connaissance infrastructure.

L'acquisition de la connaissance de ligne pour un conducteur se décompose en une partie théorique et une partie pratique. L'étude de ligne théorique doit précéder l'étude de ligne pratique.

L'étude théorique de la connaissance de ligne se fait en salle et traite en particulier les éléments repris sous RGEF (09.3.1) ci-avant. Cette étude de ligne théorique doit être effectuée par un formateur agréé.

L'étude pratique de la ligne est effectuée au moyen d'au moins deux parcours aller et retour sous la direction d'un conducteur certifié ayant la connaissance de ligne sur la ligne considérée. L'étude pratique est clôturée par la déclaration du conducteur comme quoi il connaît suffisamment la ligne afin de pouvoir s'y repérer de jour ainsi que de nuit. Pendant l'étude pratique de la ligne, le conducteur en formation n'est pas autorisé à effectuer de la conduite personnelle.

L'étude de ligne pratique peut être complétée par des séances en salle avec utilisation de matériels vidéo, de présentations, etc. »

En outre l'article 3.3 « Validité et échéance de la connaissance de ligne » définit que :

« La connaissance de ligne est validée par un examinateur reconnu.

Elle est valable pour une durée de 12 mois à partir du dernier parcours effectué par le conducteur sur le tronçon de ligne considérée.

*Si un conducteur n'a plus circulé pendant plus de 12 mois sur une ligne ou un tronçon de ligne donné, sa connaissance de ligne pour la ligne ou le tronçon de ligne considéré doit être validée par un examinateur reconnu avant la première circulation de ce conducteur sur cette ligne ou tronçon de ligne. En cas de besoin, le conducteur procédera à une nouvelle acquisition de la connaissance de ligne selon les modalités décrites sous RGEF (09.3.2).*

*La validité des connaissances lignes des conducteurs est gérée dans la base de données du Registre des Attestations Complémentaires Harmonisées. »*

### **2.14.1.3 Réglementation sur l'observation des signaux**

L'article 5.3.3.1 « *Comportement vis-à-vis des signaux* » définit que :

*« Le conducteur doit obéissance immédiate et inconditionnelle aux signaux s'adressant à son train. Il est responsable de l'observation des ordres donnés par les signaux et repères ainsi que des indications DMI présentés par le système ETCS.*

*Le conducteur qui aperçoit un signal ou un repère s'adressant à son train doit prendre immédiatement ses dispositions pour être en mesure d'obtempérer aux ordres ou de se conformer aux autorisations, renseignements ou indications donnés par ces signaux et repères en application des dispositions du RGEF (02).*

*Le conducteur doit observer la voie à parcourir, les passages à niveau et les lignes de contact. Il doit porter son attention sur des circonstances irrégulières qui pourraient mettre en danger son train. »*

De plus, le RGEF02 « *Signaux et repères* » définit le comportement à adopter en cas de mauvaise visibilité ainsi que lorsque le conducteur de train n'est pas en mesure de constater avec certitude la position d'un signal. Il indique à l'article 5.2 « *Règle du commandement le plus restrictif* » que :

*« Tout signal rencontré dans une position douteuse doit être considéré comme donnant le commandement le plus restrictif qu'il est susceptible de donner »*

En outre, l'article 8 « *Réduction de la vitesse des trains en cas de mauvaises conditions de visibilité* » indique que :

*« Lorsque les conditions de visibilité (brouillard, tempête de neige etc.) sont telles qu'elles ne permettent plus au conducteur de reconnaître avec certitude l'emplacement ou la position des signaux, la vitesse des convois ferroviaires en marche doit être réduite de façon à en permettre une perception nette »*

### **2.14.1.4 Pannes du système Memor II+ à bord des engins moteurs**

L'article 7.11.3 « *Transmission de l'avis d'isolement ou de dérangement d'un système* », stipule que :

*« Dans tous les cas de panne de systèmes embarqués, le conducteur doit, sans délai transmettre l'avis à la Dispo CO. A défaut, s'il est dans l'impossibilité de transmettre directement cet avis, il le fait transmettre par l'intermédiaire du chef de circulation.*

*L'avis doit préciser les numéros du train et de l'engin moteur, la date et l'heure de transmission ainsi que le système tombé en panne.*

*La Dispo CO informe immédiatement la Supervision trafic. »*

L'article 7.11.4.2 « Memor II+ » définit que :

*« En cas d'isolement du système au cours de la préparation du train à la gare origine ou dans une gare intermédiaire où la composition est modifiée, le train peut circuler jusqu'à la gare terminus du train (point limite d'utilisation) à la vitesse maximale autorisée de 50 km/h sans préjudice des autres vitesses-limites et réductions de vitesses applicables au train.*

*En cas d'isolement du système en cours de route, le train peut continuer sa marche jusqu'à la gare terminus du train (point limite d'utilisation) à la vitesse maximale autorisée de 50 km/h sans préjudice des autres vitesses-limites et réductions de vitesses applicables au train.*

*En plus les dispositions du RGEF (09.7.11.5) sont à appliquer. »*

Cet article a été modifié le 30 mars 2017 par :

*« Non-fonctionnement du système d'aide à la conduite Memor II+ à la gare d'origine :  
- un train, sur lequel le système d'aide à la conduite Memor II+ ne fonctionne pas à la gare d'origine n'est pas autorisé à partir.*

*Non-fonctionnement du système d'aide à la conduite Memor II+ en cours de route :  
- si le système d'aide à la conduite Memor II+ ne fonctionne plus en cours de route, le train est autorisé à continuer avec une vitesse maximale de 50km/h jusqu'à la première gare où un débarquement des voyageurs est possible. A partir de cette gare, l'engin doit rentrer au dépôt d'attache. Si le système d'aide à la conduite Memor II+ fonctionne correctement sur le poste de conduite en direction du dépôt d'attache, le train peut circuler par ses propres moyens au dépôt d'attache, sinon le conducteur doit demander le secours. »*

#### **2.14.1.5 Pannes sol du système Memor II+**

De plus l'article 7.14.3 « Devoirs d'un conducteur en cas de circulation en MEMOR II+ » stipule que :

*« Dans tous les cas de panne ou de présomption de panne de systèmes au sol, le conducteur doit, sans délai, transmettre l'information au chef de circulation compétent. L'information doit comporter, pour autant que possible la désignation du signal au droit duquel le conducteur a constaté ou présumé une panne du système au sol. »*

Cette même exigence est indiquée également dans le RGE à l'article 04.42.07.

#### **2.14.2 Réglementation sur les pannes du système Memor II+**

L'article 5.3 « non déclenchement de la surveillance Memor lors du passage d'un signal » de la consigne N°76 TM/EF CFL conduite Memor indique que :

*« Si au passage d'un signal susceptible de déclencher la surveillance Memor II+, même si la lampe LS-Memor reste éteinte, le conducteur doit adopter la conduite « Memor ».*

*Le conducteur doit :*

- *Aviser le plus rapidement le chef de circulation compétent ;*
- *Etablir la carte rapport ;*
- *Appliquer les prescriptions de l'« I.S N° 47 TM. - Surveillance de la tenue en service des engins sur rail »*

En ce qui concerne l'obligation d'établir une carte rapport, l'article 7.20.1 « *Carte - rapport* » du RGEF 09 stipule que :

*Indépendamment des annonces et signalements à faire d'après les prescriptions des différents paragraphes du RGE/RGEF, les irrégularités de toutes espèces, telles que :*

...

- *avaries et défauts aux :*

...

- *installations de signalisation ;*

...

- *véhicules ;*

...

*Constatées par ou portées à la connaissance du personnel des trains sont signalées par le chef de train ou le conducteur par « carte rapport » suivant Annexe VII (modèle carte rapport). À la fin de service, la carte-rapport est remise au Service d'attache respectif pour les suites utiles. »*

## **2.15 Visites des lieux**

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

Conformément à l'instruction de service commune *IF/MT N°29* des vérifications au SFAv Adm (voir Annexes VI et VIII) ont permis de constater quelques heures après la collision que :

- le contrôle visuel du bon état des raccords des câbles de la boîte de distribution vers le crocodile respectivement vers la voie était concluant ;
- le contrôle visuel de la pédale de contresens afin de détecter un dysfonctionnement ou un dommage à l'intérieur ou à l'extérieur du boîtier était concluant ;
- le mesurage de la hauteur du crocodile par rapport au plan de roulement était concluant, 92 mm (tolérance 90 +/- 2 mm) ;
- le mesurage de la tension des batteries sous une charge de 33  $\Omega$  était concluant, 14,4 V ( $\geq 13$  V) ;
- le contrôle de la bonne position de la pédale de contresens par rapport au rail était concluant.

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 (voir *chapitres 2.20.3.1 Mesure de la tension Memor II+ et 2.20.3.2 Inspection du câblage au sol*). La visite des lieux s'est achevée par une inspection du PDC et du PDT. Aucune avarie ni aucun dysfonctionnement n'ont été constatés par les enquêteurs de l'AET.

## 2.16 Système Memor II+

### 2.16.1 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. Ce système avait été repris à l'époque de la SNCF afin de garantir l'interopérabilité. 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 déploiement de ce système a eu l'avantage qu'au niveau de l'infrastructure ferroviaire on n'a pas eu besoin de grands investissements étant donné que le GI a pu utiliser les installations au sol du système RPS déjà présentes (crocodiles, câblages, etc.) et que l'interopérabilité des engins moteurs avec les réseaux belges et français pouvait être maintenue.

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. Le système Memor II+ peut être considéré comme une évolution du système RPS, lequel utilise l'impulsion RPS afin de surveiller la conduite du train en cabine. 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.

### 2.16.2 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. Il est à noter que les composants au sol du système RPS sont considérés comme faisant partie du système Memor II+.

#### 2.16.2.1 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  $\geq 40$  km/h (SFAVI) ainsi que les signaux mobiles annonceurs de ralentissements temporaires (SMR/A) sont équipés de « crocodiles ».

Il est à noter que les SFP 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. À l'aide d'un relais situé dans l'armoire relais à côté de la voie, la position du signal est transmise à l'équipement au sol. Les alimentations en courant du signal et de l'équipement au sol sont distinctes. Pour le signal il s'agit de courant alternatif de 55 V, pour l'équipement au sol il s'agit d'une batterie de 18 V pour laquelle aucun dispositif ne signale une tension de batterie trop basse.

Le potentiel est pour un 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 SFP :

position	désignation	potentiel	
		1 <sup>er</sup> crocodile	2 <sup>ème</sup> 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  $\geq 40$  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 qui, pour les automotrices de type TER2N-ng, est 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 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 SFAv 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 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.

Pour les voies de sortie des dépôts, des crocodiles d'essai sont installés afin de vérifier le bon fonctionnement de la transmission Memor II+ entre l'infrastructure et le véhicule lors de chaque sortie de dépôt.

### **2.16.2.2 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.

#### **2.16.2.2.1 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 vigilance BP (AC-SF), à acquitter par le conducteur de train endéans 4 secondes, lors du passage d'un SFAV 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 SFAV en position d'avertissement ou de limitation de vitesse ;
- d'un émetteur de bip sonore, alertant le conducteur lors du passage d'un SFAV en position d'avertissement ou indiquant une restriction de vitesse.

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 passage d'un SFAV en position d'annonce à distance de voie libre. Uniquement l'observation de la signalisation latérale informe le conducteur de train sur la position de voie libre d'un SFAV.

#### **2.16.2.2.2 Aide à la conduite**

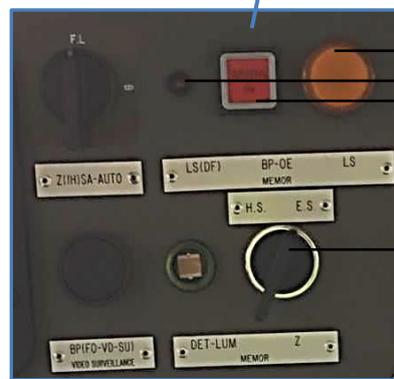
La fonction « aide à la conduite » est composée, au niveau du poste de conduite d'une rame de type TER2N-ng, principalement :

- 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 (p.ex. : en cas 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 (p.ex. : lors de la circulation sur les réseaux ferrés limitrophes).

## L'équipement en cabine :

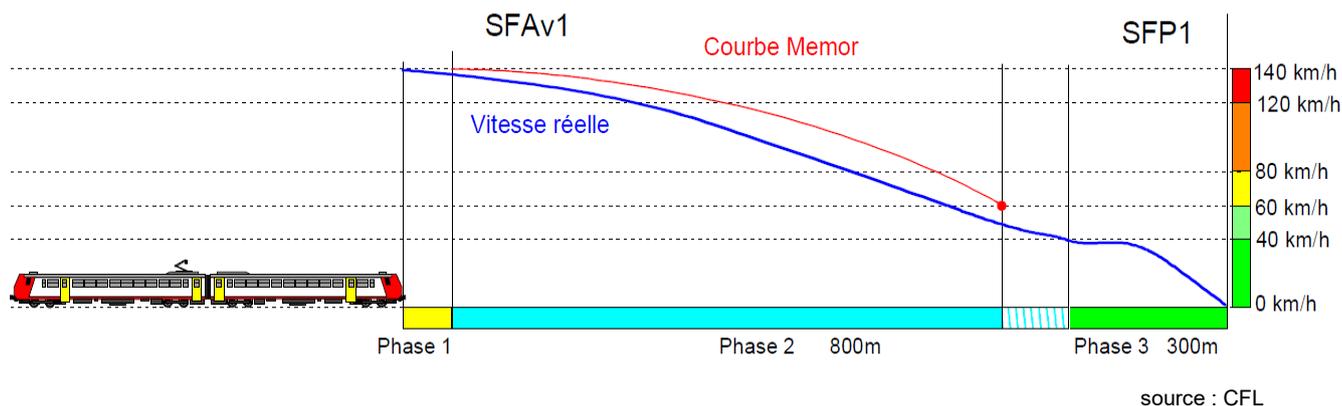


LS-SF (lampe témoin)



- LS-Memor (lampe témoin)
- LS-DF-Memor (lampe témoin)
- BP-OE (bouton poussoir, lampe témoin)
- Z-Memor (interrupteur)

### 2.16.3 Conduite sous Memor II+ (SFP fermé)



Lors du passage d'un SFAv en position d'avertissement ou de limitation de vitesse (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 SFAv, 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 acquiescer 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 SFP en position d'arrêt. La lampe signalétique LS-SF s'éteint. (Phase 2)

La décélération est surveillée dès réception de l'impulsion à hauteur du SFAv 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 de référence (courbe Memor II+), 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 SFP (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 en position d'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 SFP 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 système 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.

#### 2.16.4 Homologation et certification du système Memor II+

Selon les informations reçues par les CFL, la partie du système Memor II+ transmettant l'impulsion électrique entre l'engin ferroviaire et l'infrastructure est du point de vue mécanique et électrique identique à celui du dispositif RPS déjà en service depuis les années 1970.

Côté infrastructure, l'introduction du système Memor II+ sur le réseau ferré luxembourgeois s'est limitée à l'implantation sur tout le réseau de deux contacts fixes en aval des SFP avec prise d'information dans les circuits des feux du signal suivant des principes déjà établis pour les SFAV dans le cadre du dispositif RPS.

Dans les années 1970 où le dispositif RPS, ainsi qu'après les accidents qui se sont produits en 1997, où le système Memor II+ ont été introduits, les CFL n'utilisaient pas encore de système d'analyse des risques. Ceci a eu comme conséquence que les réflexions menées et les actions engagées par les acteurs impliqués n'ont pas été documentées.

## 2.16.5 Prescription d'entretien du système Memor II+

### 2.16.5.1 Partie installation au sol

Des contrôles périodiques sont effectués par les services de maintenance du GI. Le document de référence pour les travaux de maintenance des composants Memor II+ au sol est l'instruction de service commune des CFL *IF/MT N°29* en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> mai 1985. Les agents de maintenance utilisent le document « *Merkblatt - Instandhaltungsfristen für elektrische Zugbeeinflussungsanlagen* » (voir Annexe IX) reprenant les travaux de maintenance à effectuer. Les procédures prévoient différents contrôles mensuels, semestriels et annuels pour l'installation des SFP. En ce qui concerne les SFAV des contrôles bimestriels, semestriels et annuels étaient prévus.

Selon les fiches de maintenance du SFAV Adm pour l'année 2016 et 2017 un contrôle approfondi a été effectué durant le mois de mars et de septembre 2016. Des contrôles sommaires bimestriels ont également été réalisés, le dernier remontait au 12 janvier 2017. Il est à noter que quelques heures après l'accident un contrôle sommaire a été effectué (voir Annexe VI).

En ce qui concerne le SFP Dm, des contrôles sommaires mensuels ainsi qu'un contrôle approfondi en avril et septembre 2016 ont été effectués. De plus l'installation au sol a également été contrôlée quelques heures après l'accident.

Il est à noter que lors de ces contrôles aucune lacune respectivement défaillance n'a été reportée par les agents de maintenance.

Le contrôle sommaire bimestriel pour les installations au SFAV incluait :

- le contrôle visuel du bon état des raccords des câbles de la boîte de distribution vers le crocodile respectivement vers la voie ;
- le contrôle visuel du bon état de la pédale de contresens (détecteur électromécanique), afin de détecter un dysfonctionnement ou un dommage à l'intérieur ou à l'extérieur du boîtier ;
- mesurage de la hauteur du crocodile par rapport au plan de roulement (90 +/- 2 mm) ;
- mesurage de la tension des piles sous une charge de 33  $\Omega$  ( $\geq 13$  V) ;
- le contrôle de la bonne position de la pédale de contresens par rapport au rail.

Le contrôle biannuel pour les installations au SFAV incluait :

- toutes les vérifications effectuées lors du contrôle bimestriel ;
- la vérification de la bonne polarité au crocodile, selon la position du SFAV ;
- mesurage du courant à vide (< 1 mA) ;
- la vérification du bon état du câblage et des éléments de la batterie ;
- le contrôle du bon fonctionnement du relais auxiliaire sur tension « jour » et « nuit » ;
- le contrôle du bon état de l'isolation des vis de fixation et de la fixation du crocodile ;
- la vérification de l'état d'usure du bras de commande de la pédale de contresens (< 50 %, 3,5 mm) ;
- la vérification de la temporisation de la pédale de contresens ( $\geq 10$  s) ;
- la vérification du niveau d'huile dans le dashpot de la pédale de contresens ;
- la vérification du serrage des boulons de fixation et des amortisseurs de la pédale de contresens ;
- le graissage des ressorts de rappel des bras et des vis de fixation des couvercles de la pédale de contresens ;
- le nettoyage de l'intérieur de la pédale de contresens ;
- la vérification du bon état des contacts de la pédale de contresens ;
- la vérification de la bonne introduction et étanchéité du câble de la pédale de contresens.

Le contrôle annuel pour les installations au SFAv incluait :

- toutes les vérifications effectuées lors du contrôle biennuel ;
- le contrôle de la polarité nulle lors de l'activation de la pédale de contresens ;
- le nettoyage de tous les composants ;
- remise en peinture le cas échéant.

Pour les SFP, les procédures prévoyaient des contrôles similaires lesquels ne sont pas énumérés dans ce rapport. Les installations au SFP Dm ayant fonctionné correctement, elles n'ont qu'indirectement fait part de l'enquête.

En ce qui concerne les travaux de remplacement des composants au sol, les agents de maintenance se réfèrent aux documents « *Merkblatt-Instandhaltungsfristen für elektrische Zugbeeinflussungsanlagen* » et l'instruction de service commune des CFL *IF/MT N°29*. Il n'existe pas de procédures détaillées que les agents doivent suivre pour réaliser ces travaux afin de garantir le bon montage et de vérifier le bon fonctionnement du composant remplacé.

La mention « ok » indiquée sur les fiches de maintenance (voir Annexes VI et VII) informait de l'état de conformité après vérification. Les procédures ne prévoyaient pas d'indiquer les travaux de maintenance réalisés afin de remédier aux éventuelles défaillances constatées.

Selon les informations reçues par le GI, la pédale de contresens au SFAv Adm a été remplacée en date du 11 novembre 2016, les techniciens de maintenance avaient constaté des traces de saleté et d'huile à l'intérieur de la pédale et avaient ainsi décidé de la remplacer.

### **2.16.5.2 Partie matériel roulant**

Des contrôles périodiques étaient également prévus au niveau du matériel roulant. On différencie les contrôles du dispositif RPS, c'est-à-dire toute la partie de l'engin moteur allant de la brosse de contact jusqu'aux boutons et voyants RPS du pupitre en cabine et les contrôles spécifiques du système Memor II+. A noter que le système Memor II+ utilise l'impulsion RPS transmise par la brosse.

#### **2.16.5.2.1 Partie RPS**

Le matériel roulant de la série TER2N-ng a été commandé conjointement avec la SNCF. Toutes les automotrices françaises et luxembourgeoises sont de fait identiques du point de vue technique, y compris pour la partie RPS.

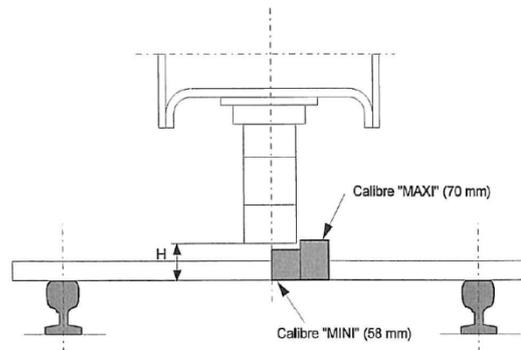
En ce qui concerne la maintenance, les CFL utilisaient les instructions y relatives de la SNCF sur base d'une convention conclue dans le cadre de l'acquisition des automotrices.

Le fascicule SNCF « *ITM 40 150 - inventaire des travaux de maintenance* » indique la périodicité ainsi que le détail des travaux et inspections à effectuer.

Les fiches de visite « *VS7007 - test des dispositifs de répétition ponctuelle des signaux* » et « *VS7004 - brosse de contact circuit de brosse* » définissent la maintenance à réaliser au niveau du dispositif RPS.

L'essai principal consiste à simuler à l'aide d'un boîtier de test le passage du train sur un crocodile. Une pince fixée sur la brosse de contact et reliée à l'équipement en question transmet une impulsion électrique négative respectivement positive d'au moins 12 V de courant continu au dispositif RPS en cabine. Ainsi, le bon fonctionnement de ce dispositif est vérifié.

De plus, au niveau de la brosse de contact une inspection consiste à vérifier le bon état des lamelles, des fixations et à ajuster la hauteur des lamelles par rapport au plan des rails dans le cas où la hauteur n'est pas comprise entre 58 et 70 mm. La vérification est effectuée à l'aide d'un calibre posé sur les rails. Suite à l'accident, les CFL règlent, par mesure de précaution, la hauteur des brosses au minimum possible, c'est-à-dire le plus proche possible de 58 mm, lors des opérations de maintenance.



Extrait : notice technique N°5 TM-annexe 26-figure 4

Selon le module MIF41 du plan d'entretien des automotrices de la série TER2N-ng, la périodicité des contrôles de la hauteur des brosses est de 56 jours maximum. Avant l'accident, les CFL ont réalisé ces contrôles au plus tard tous les 37 jours. Par mesure de précaution, les CFL ont, après l'accident, réduit ce délai à 14 jours.

Selon le module MST23/24 de l'ITM 40150, le contrôle RPS est à réaliser au plus tard tous les 14 mois dans le cadre de l'inspection TS12. Les CFL ont effectué ces tests selon la même périodicité que celle du module MIF41, c'est-à-dire tous les 37 jours avant l'accident et tous les 14 jours après l'accident.

#### 2.16.5.2.2 Partie Memor II+

En ce qui concerne cette partie, il comprend un entretien semestriel et annuel.

La procédure CFL « PS-4403-01\_00 Entretien du Memor II+ » spécifie les différents travaux à réaliser :

- tous les 6 mois :
  - remplacement de la pile de l'automate programmable ;
  - réglage de l'horloge interne ;
  - lecture et analyse des événements enregistrés dans la mémoire Memor II+ ;
  - remise à zéro des mémoires Memor II+.
  
- tous les 12 mois :
  - remplacement de la pile de l'automate programmable ;
  - réglage de l'horloge interne ;
  - lecture et analyse des événements enregistrés dans la mémoire Memor II+ avant et après les essais statiques ;
  - essais statiques annuels suivant « DA-44-18-Memor » ;
  - remise à zéro des mémoires Memor II+.

De plus, la procédure « *DA-44-18-Memor* » décrit les essais statiques à réaliser annuellement. Elle prévoit différentes simulations ayant pour but de vérifier le bon fonctionnement du dispositif d'aide à la conduite.

La procédure en question prévoit entre autres les essais pour les cas de figures suivants :

- défaut de captage de vitesse ;
- défaut de captage de vitesse avec le dispositif Memor II+ hors service ;
- freinage d'urgence par dépassement de la vitesse maximale autorisée par le dispositif Memor II+ et de la distance de surveillance ;
- franchissement d'un SFAv fermé et prise en charge par le dispositif Memor II+ ;
- freinage d'urgence par double dépassement de courbe ;
- franchissement d'un SFAv fermé sans prise en charge par le dispositif Memor II+ ;
- franchissement d'un SFAv fermé avec le dispositif Memor II+ hors service ;
- fonction de la courbe prolongée ;
- libération d'une phase de surveillance impossible ;
- phase de surveillance en arrière-plan avec le dispositif Memor II+ hors service ;
- franchissement d'un SFP à l'arrêt avec freinage d'urgence ;
- franchissement d'un SFP à l'arrêt avec le dispositif Memor II+ hors service ;
- franchissement d'un SFP à l'arrêt BP-Oé appuyé sans freinage d'urgence ;
- freinage d'urgence par dépassement de vitesse avec BP-Oé appuyé ;
- BP-Oé avec le dispositif Memor II+ hors service ;
- isolement du dispositif Memor II+ ;
- freinage d'urgence par dépassement de courbe, de la distance de surveillance et de la vitesse maximale autorisée par le dispositif Memor II+.

## 2.17 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 :

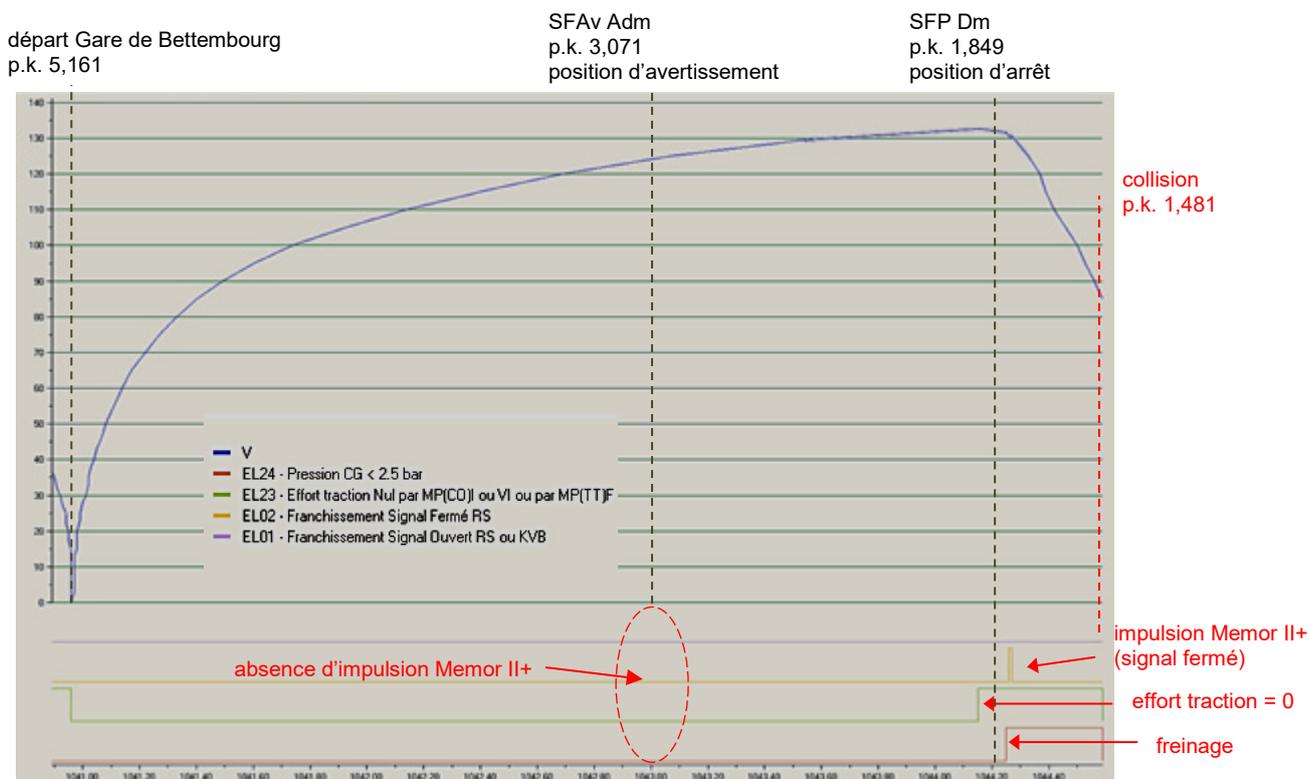
- les indications de temps contenues dans les deux enregistreurs d'évènements ne sont pas synchronisées ;
- les enregistreurs d'évènements peuvent ne pas contenir les tout derniers instants avant l'impact en raison des dommages importants subis lors de la collision ;
- les dernières données enregistrées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

### 2.17.1 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 service 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 <sup>8</sup>	1,590	franchissement SFAv Adm - <i>position d'avertissement</i>	123 km/h <sup>8</sup>	
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 <sup>8</sup>	0	collision	85 km/h	

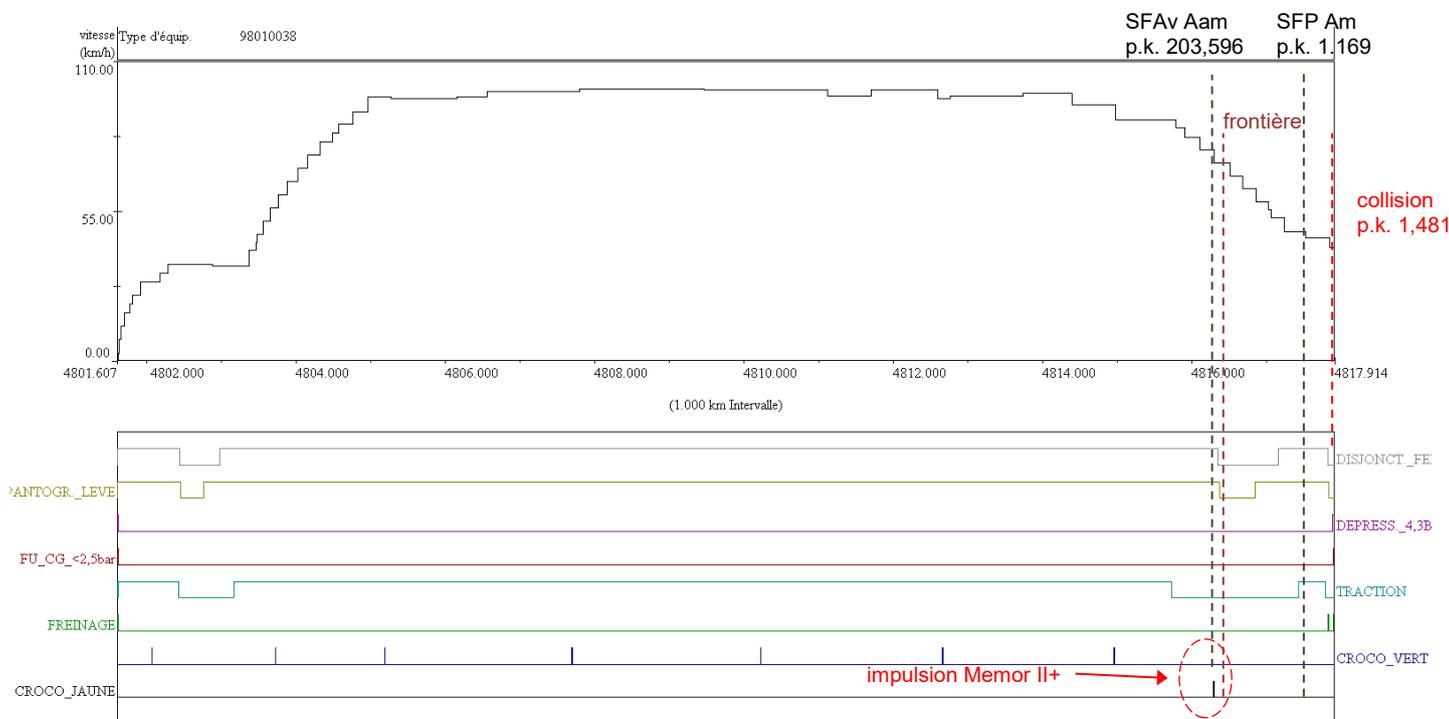
(source des données : enregistreur d'évènements)

<sup>8</sup> Données non contenues dans l'enregistreur d'évènements, elles ont été ajoutées afin de compléter la chronologie de l'accident.

## 2.17.2 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 de 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.

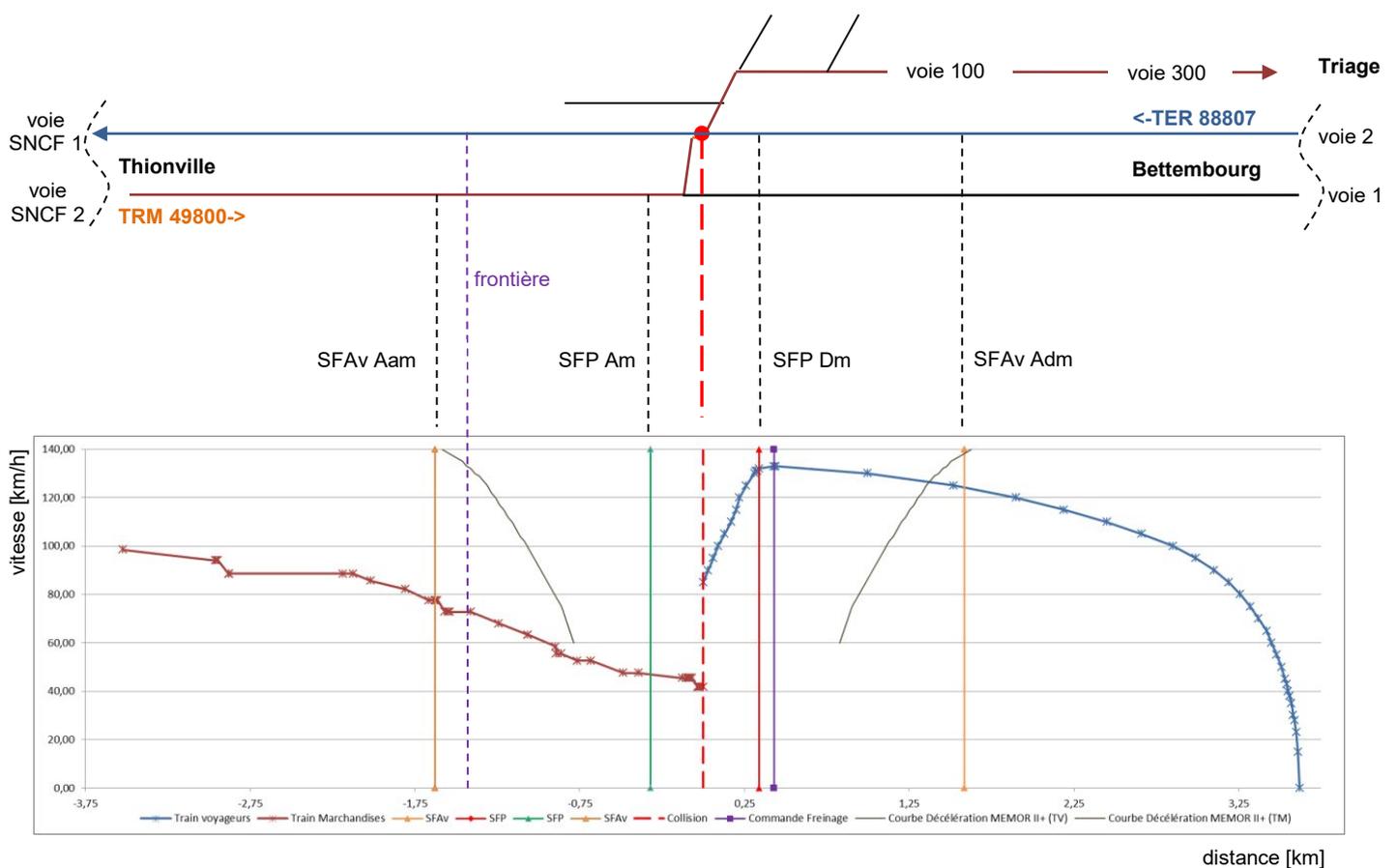
## Chronologie

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 <sup>9</sup>	1,481	frontière	72 km/h <sup>9</sup>	
08:45:15 <sup>9</sup>	0,312	franchissement SFP Am - <i>position de voie libre avec limitation de la vitesse</i>	47 km/h <sup>9</sup>	
08:45:35	0	collision	41 km/h	

(source des données : enregistreur d'évènements)

### 2.17.3 Représentation des itinéraires



<sup>9</sup> Données non contenues dans l'enregistreur d'évènements, elles ont été ajoutées afin de compléter la chronologie de l'accident.

## 2.17.4 Analyse des données des enregistreurs d'évènements de tous les trains CFL ayant empruntés l'itinéraire du TER 88807 (Luxembourg - Bettembourg-frontière) en 2017

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 (1<sup>er</sup> 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.

	date	train	engin	position SFAv Adm	départ prévu à Lux.	température <sup>10</sup>
1	03.01.2017	88713	2210-Z1	voie libre	07h38	-1°C
2	03.01.2017	88807	2204-Z5	voie libre	08h27	-1°C
3	06.01.2017	88713	2217-Z5	voie libre	07h38	-8°C
4	06.01.2017	88533	2217-Z5	voie libre	17h38	-7°C
5	07.01.2017	88521	2217-Z5	voie libre	09h38	-7°C
6	07.01.2017	88533	2217-Z5	voie libre	17h38	-4°C
7	18.01.2017	88713	2210-Z1	voie libre	07h38	-7°C
8	18.01.2017	88807	2219-Z5	voie libre	08h27	-7°C
9	19.01.2017	88807	2210-Z5	avertissement	08h27	-7°C
10	19.01.2017	88521	2219-Z1	voie libre	09h38	-6°C
11	20.01.2017	88807	2204-Z5	voie libre	08h27	-5°C
12	23.01.2017	88779	2222-Z1	voie libre	21h38	-4°C
13	13.02.2017	88807	2205-Z1	voie libre	08h27	0°C
14	13.02.2017	88521	2217-Z1	voie libre	09h38	0°C
15	14.02.2017	88719	24525 SNCF	voie libre	08h13	-1°C
<i>acc.<sup>11</sup></i>	14.02.2017	88807	2211-Z5	avertissement	08h27	-1°C

Le tableau ci-dessus résume les cas de non-transmission de l'impulsion Memor II+.

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

- lors de ces 15 trajets, toutes les autres impulsions Memor II+ auprès de tous les autres signaux 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+ ;

<sup>10</sup> Données météorologiques de l'Administration de la navigation aérienne.

<sup>11</sup> Le trajet de l'accident est indiqué à titre indicatif.

- 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 d'annonce à distance de voie libre. Lors d'un passage, le SFAv Adm était en position d'avertissement, comme le jour de l'accident, obligeant le train à s'arrêter devant un SFP en position d'arrêt ;
- les 12 trains tractés par une locomotive de type T13/3000, ont reçu toutes les impulsions Memor II+ correctement ;
- la majorité des cas a eu lieu le matin entre 7h38 et 9h38, environ au moment de la levée du soleil et par des conditions météorologiques hivernales (températures entre 0°C et -8°C).

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 - réception du signal Memor II+, une détection ultérieure de la cause de la défaillance peut s'avérer difficile.

## **2.17.5 Analyse complémentaire des données des enregistreurs d'évènements**

L'analyse de l'enregistreur de données de l'automotrice a permis de constater une irrégularité dans le fonctionnement du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm. En conséquence le dispositif n'a pas informé le conducteur de la position d'avertissement du SFAv Adm. Afin de mieux cibler l'origine et la fréquence de ce type de dysfonctionnement, des analyses complémentaires à grandes échelles de ces données ont été réalisées. Il est à noter que les entreprises ferroviaires n'ont pas procédé, avant l'accident, à une analyse systématique de ces données. Uniquement un certain nombre d'enregistrements par conducteur et par an ont été examinés. Ces analyses avaient comme unique objectif d'évaluer la conduite du conducteur. Il est à noter que pour les trains où une non-réception de l'impulsion du système Memor II+ a été trouvée, le conducteur n'a pas notifié l'évènement.

### **2.17.5.1 Analyse de grandes échelles des données des enregistrements d'évènements sur le réseau ferré national**

Afin d'avoir un aperçu de l'envergure du problème au niveau du réseau ferré national, une analyse détaillée couvrant la période du 1<sup>er</sup> février 2017 au 15 février 2017 a été effectuée sur une ligne complète du réseau.

Cette analyse concernait 1215 trains (itinéraires) roulant avec le système Memor II+. 697 trains roulant avec le système de sécurité ETCS ont été exclus de l'analyse. Au total, 66 cas de non-transmission de l'impulsion du système Memor II+ lors du passage d'un SFAv ont été relevés. Ces dysfonctionnements concernaient principalement trois SFAv (21, 11 et 10 cas). Dans 58 cas, le dysfonctionnement concernait deux engins (23 pour l'un et 35 pour l'autre).

Au vu de l'envergure de l'analyse, les résultats n'ont pu être finalisés que fin avril 2017, rendant, selon les CFL, la détection de l'origine des dysfonctionnements difficile. Ni le GI, ni l'EF CFL n'étaient jusqu'à ce moment au courant de ces dysfonctionnements. De plus, des opérations de maintenance avaient entretemps déjà été effectuées.

Cependant, il a pu être constaté que lors de ces 66 franchissements dans 21 cas l'impulsion manquante du système Memor II+ était positive, indiquant que le SFAv était en position d'avertissement ou de voie libre avec limitation de la vitesse.

### 2.17.5.2 Analyse d'un échantillon de données des enregistreurs d'évènements de trains CFL ayant empruntés le même itinéraire (Luxembourg-Bettembourg-frontière) entre septembre et décembre 2016

Une analyse des données des enregistreurs d'évènements d'un échantillon de trains CFL (série engin 2200) ayant franchi le SFAv Adm a été effectuée pour le période du 1<sup>er</sup> septembre au 15 septembre 2016 et du 1<sup>er</sup> octobre 2016 au 15 décembre 2016. En tout, 394 trains ont été analysés, 67 en septembre, 134 en octobre, 126 en novembre et 67 en décembre 2016. Toutes les impulsions du système Memor II+ enregistrées par les engins moteurs ont été analysées pour le trajet Luxembourg-Bettembourg-frontière.

Les trains analysés sont les suivants :

	train	départ prévu à Lux.
lundi au vendredi	88701	05h13
	88703	05h43
	88713	07h38
	88807	08h27
	88523	10h28
samedi	88601	05h38
	88521	09h38
	88529	13h38
dimanche	88605	07h38
	88723	10h13
	88525	11h38

Dans 2 cas l'impulsion du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm n'a pas été enregistrée par le matériel roulant, sachant que toutes les autres impulsions sur le parcours ont été correctement transmises :

	date	train	engin	départ prévu à Lux.	température <sup>12</sup>
1	08.12.2016	88807	2217-Z5	08h27	-2°
2	09.12.2016	88703	2211-Z1	05h43	-1°

### 2.17.5.3 Analyse de toutes les données des enregistreurs d'évènements de l'automotrice impliquée (2211-Z5) dans l'accident pour la période du 2 janvier au 8 février 2017.

38 trajets effectués par l'automotrice 2211-Z5 ont été analysés. Toutes les impulsions Memor II+ par l'engin moteur ont été analysées pour cette période. Dans quatre cas un défaut d'impulsion Memor II+ a été constaté à hauteur d'un même SFAv. Après une analyse plus approfondie il s'est avéré que l'origine du dysfonctionnement se situait au niveau de l'installation au sol Memor II+.

<sup>12</sup> Données météorologiques de l'Administration de la navigation aérienne.

#### **2.17.5.4 Analyse hebdomadaire d'un échantillon de trains**

Conformément à la décision de l'entreprise ferroviaire CFL d'effectuer, suite à l'accident, des analyses hebdomadaires des enregistrements d'évènements de conduite d'au moins un train par engin moteur et d'au moins trois trains par ligne, afin de vérifier le bon fonctionnement sur le réseau du système Memor II+, plusieurs milliers de trains ont été analysés. Trois cas de non-transmission ont pu être déterminés.

Il est à noter qu'au fur et à mesure que le parc roulant ferroviaire des CFL a été équipé et que les trains circulent avec le système de sécurité ETCS, le nombre d'analyses a proportionnellement diminué. Ces analyses qui ont débuté le 20 mars 2017, continuent à être effectuées jusqu'au 31 décembre 2019. En effet, jusqu'à cette date, le matériel ferroviaire SNCB et SNCF n'étant pas encore équipé en ETCS est autorisé à circuler avec le système Memor II+ sous le certificat de sécurité de l'EF CFL. Depuis le 29 janvier 2018 tout le matériel ferroviaire appartenant à l'EF CFL circulent en ETCS sur le réseau ferré luxembourgeois.

### **2.18 Analyse des communications téléphoniques**

Lors de leur trajet respectif, aucun appel privé ou professionnel, via le réseau de téléphonie mobile a été effectué par les deux conducteurs d'engin moteur.

Ils n'ont à aucun moment essayé de prendre contact avec le poste de régulation. De plus, aucune alarme RST n'a été émise par les conducteurs de train impliqués.

Le conducteur du TER 88807 a consulté l'application de messagerie « *Whatsapp* » de son téléphone portable privé.

Il est à noter que le portable privé de la victime décédée a pu être retrouvé dans les décombres. Fortement endommagé, une analyse des données contenues dans le portable était impossible.

#### **2.18.1 Analyse des données de l'application « Whatsapp » de la victime décédée**

En se basant sur l'impression écran reçue par deux collègues de travail du conducteur du TER 88807 montrant le statut « *last seen 14 February, 08:47* » de son profil dans l'application de messagerie instantanée « *WhatsApp* », une analyse de la signification de ce statut a été réalisée.

Tout d'abord, il y a lieu de noter que les opérateurs de téléphonie mobile luxembourgeois ne sauvegardent aucune information en relation avec les activités de l'application « *Whatsapp* », rendant une analyse détaillée plus difficile.

Partant du constat que le statut dans l'application de messagerie « *Whatsapp* » du portable privé de la victime décédée, indiquait « *last seen 14 February, 08:47* », des analyses plus approfondies ont été menées, afin de comprendre la signification exacte de ce statut.

Le statut « *last seen* » indique la date et l'heure de la dernière utilisation de l'application de messagerie. Ceci correspond au moment où l'application se déconnecte. Le statut « *last seen* » ne correspond pas systématiquement au moment où l'utilisateur a fermé manuellement l'application ou le téléphone portable s'est mis en mode veille. Il y a un laps de temps plus au moins long entre la dernière manipulation de l'utilisateur et la déconnexion. Ce laps de temps varie en fonction de certains paramètres liés au téléphone portable, à son système d'exploitation, ainsi qu'à la version et à l'algorithme propre de l'application « *Whatsapp* ».

Il est à noter que pour le téléphone portable privé de la victime décédée, ni la version du système d'exploitation, ni la version de l'application « *Whatsapp* » n'ont pu être déterminées.

Des essais avec le même système d'exploitation ont été menés, afin de définir en fonction des paramètres choisis, le laps de temps entre la dernière manipulation de l'utilisateur et l'heure indiquée dans l'application « *Whatsapp* ».

Après avoir effectué des essais avec différents paramètres, il a été constaté que le laps de temps entre la dernière consultation de l'application « *Whatsapp* » et l'heure indiquée dans le statut « *last seen* » peut atteindre avec les paramètres les plus défavorables jusqu'à 13 minutes. La collision ayant eu lieu à 08h45m35s, il est tout à fait possible que suite à l'impact qui a détruit le téléphone portable la connexion internet a été coupée instantanément. L'application « *Whatsapp* » s'est déconnectée de par son mode de fonctionnement propre deux minutes plus tard, ce qui pourrait expliquer ainsi l'indication « *last seen 14 February, 08:47* »

## **2.19 Reconstitutions**

Deux reconstitutions ont été réalisées afin d'analyser en détail les facteurs ayant pu jouer un rôle lors de la collision.

### **2.19.1 Reconstitution du 24 février 2017**

En date du 24 février 2017 une reconstitution a été réalisée afin d'analyser le déroulement des derniers instants avant la collision ainsi que les manipulations faites par le conducteur du TER. Des caméras ont été installées dans la cabine de conduite d'une automotrice de type TER2N-ng. Le train est parti à 09h38 de la Gare de Luxembourg en direction de Thionville (N° train 88521) et ensuite à 10h57 de la Gare de Thionville en direction de Luxembourg (N° train 88730). La météo était quasiment identique à celle du jour de l'accident, c'est-à-dire sec et sans nuages. Le SFAV Adm et le SFP Dm indiquaient la même position que le jour de l'accident.

En ce qui concerne le trajet Luxembourg-Thionville (TER), les enregistrements ont permis de constater que la visibilité en amont du SFAV Adm était bonne, malgré la présence d'une courbe à droite. Cependant la position du soleil était telle qu'il éblouissait fortement le conducteur de train. La visibilité au SFP Dm était également bonne. La position du soleil était légèrement différente, l'éblouissement était moindre. De plus, en raison de la courbe à droite le champ de vision du conducteur du TER était limité en amont du SFP Dm, celui-ci se trouvant en sortie de courbe. Il a aussi été noté que la charge de travail pour le conducteur de train était faible sur cette partie de la ligne.

En ce qui concerne le trajet retour Thionville-Luxembourg, les enregistrements ont débuté à la frontière, afin de respecter la réglementation française sur la protection des données. Les enregistrements ont permis de constater que la visibilité du SFP Am était bonne, le soleil n'a pas ébloui le conducteur. Le tronçon se situe sur une ligne droite permettant une bonne visibilité en amont et en aval du SFP. Le passage frontière implique une charge de travail modérée pour le conducteur de train.

### **2.19.2 Reconstitution du 22 février 2018**

Afin de déterminer le temps dont a disposé le conducteur du TER pour pouvoir apercevoir la position du SFAV Adm respectivement du SFP Dm et de déterminer l'influence de l'éblouissement du soleil, une deuxième reconstitution a été réalisée le 22 février 2018. Lors de ce trajet (train 88721) le train s'est déplacé avec les mêmes vitesses que le jour de l'accident (voir chapitre 2.17.1 *Enregistreurs d'événements du TER 88807*). Il est parti conformément à son itinéraire à 8h39 de la Gare de Luxembourg en direction de Thionville. Les signaux étaient en position de voie libre. La météo était quasiment identique à celle du jour de l'accident.

La reconstitution a permis de mettre en évidence que le SFAV Adm ainsi que le SFP Dm étaient tous les deux visibles par le conducteur du TER environ 7 secondes avant son passage.

De plus le trajet entre le SFAv Adm et le SFP Dm a duré 34 secondes.

La position du soleil était telle qu'il éblouissait fortement le conducteur de train. Selon les données recueillies lors de la reconstitution, l'effet d'éblouissement a commencé environ 32 secondes avant le franchissement du SFAv Adm au p.k. 4,1 et a perduré jusqu'à l'endroit de la collision (voir *Annexe II - Photos illustrant la visibilité prises le 22 février 2018*). Le parcours en amont depuis la Gare de Luxembourg était favorable à une conduite sans gêne du soleil.

La photo ci-après a été prise à l'intérieur de la cabine de conduite au moment d'apercevoir le SFAv Adm à hauteur du 1<sup>er</sup> mirliton de ce même signal vers 08h53.



Il est à noter que comme la trajectoire du soleil varie tout au long de l'année, une légère variation de position du soleil entre le jour de l'accident et le jour de la reconstitution est à considérer. La position du soleil était légèrement plus basse au moment de l'accident.

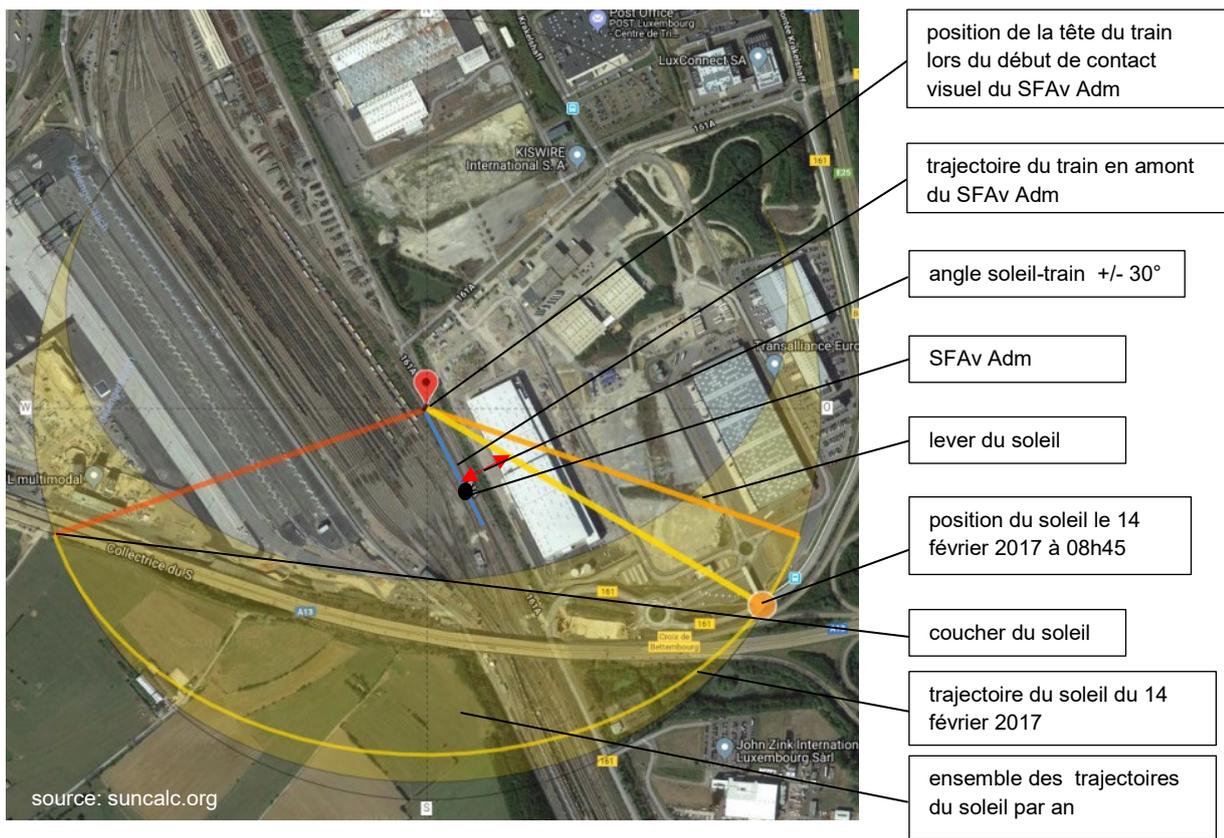
Données concernant la position du soleil :

date/ heure	14-02-17 / 08h45	22-02-18 / 08h53	différence
altitude	7,88°	11,31°	3,43°
azimut	120,47°	120,65°	0,18°

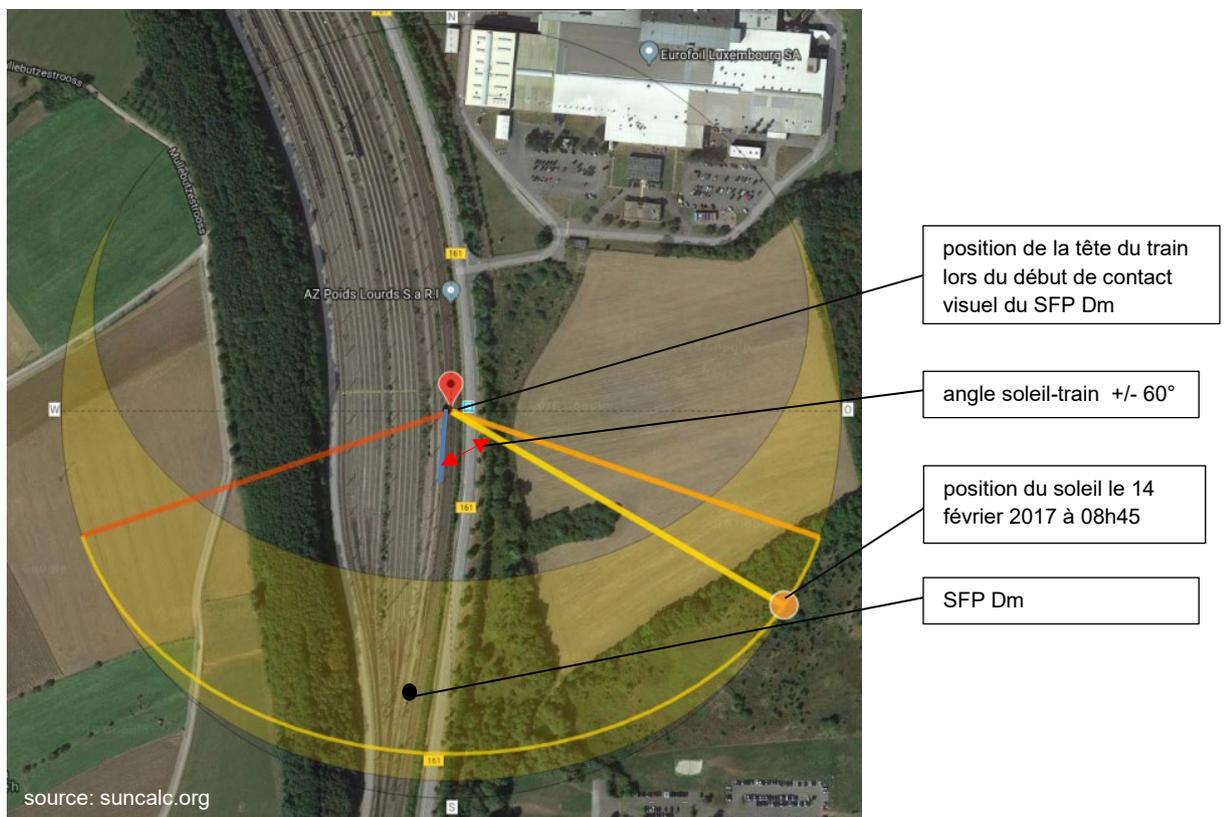
culmination	12h49m43s	12h49m03s
aube	07h13m33s	06h59m53s
lever du soleil	07h46m15s	07h32m00s
coucher du soleil	17h53m55s	18h06m54s
crépuscule	18h26m39s	18h39m03s
durée jour	10h7m40s	10h34m54s

On constate que la position du soleil était quasiment identique lors de la reconstitution. La différence de position du soleil entre l'instant de la collision et le passage au SFAv Adm lors de la reconstitution est négligeable.

### Illustration de la position du soleil en amont du SFAv Adm



### Illustration de la position du soleil en amont du SFP Dm



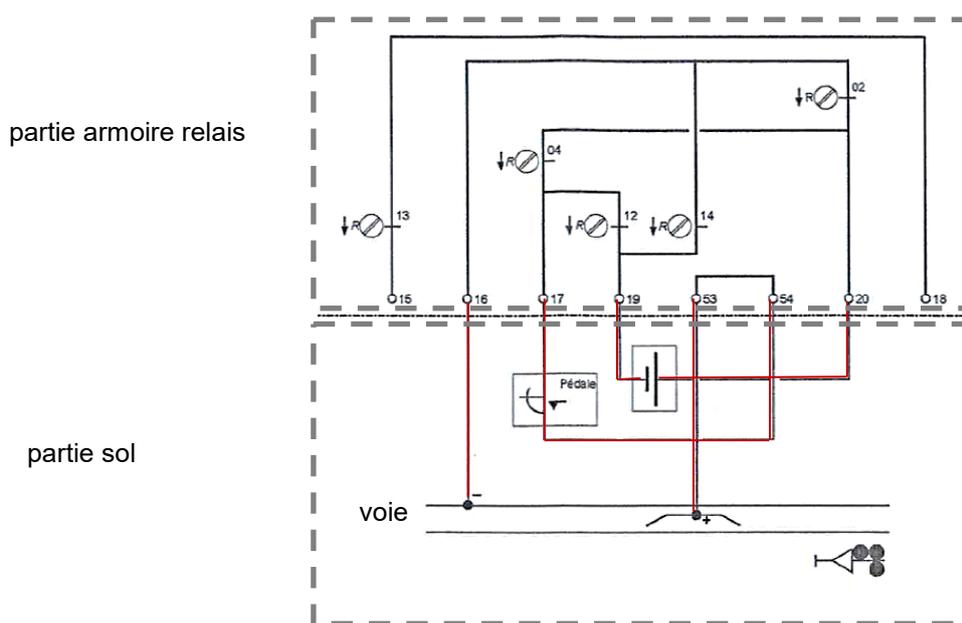
## 2.20 Essais et analyses des composants au sol du système Memor II+

Le nombre des composants de la partie au sol du système Memor II+ au SFAV Adm est relativement limité. On distingue :

- 1) un crocodile fixé au milieu de la voie ferrée sur lequel vient frotter la brosse de contact du train lors de son passage ;
- 2) une armoire relais installée le long de la voie à hauteur du SFAV Adm, ayant comme fonction de coupler le système à la position du SFAV Adm. Un relais modifie la tension en fonction de la position du signal (tension positive ou négative) ;
- 3) une pédale de contresens servant à inhiber le système lors d'un passage d'un train à contresens ;
- 4) plusieurs câbles et pièces de fixations, reliant les différents composants conformément au schéma ci-dessous ;
- 5) une batterie monobloc de 18 V, servant à alimenter le système Memor II+.

Le câblage peut être divisé en deux groupes, d'une part l'armoire relais composé principalement de fils électriques et de relais reliés au SFAV et d'autre part les câbles (au sol) se situant le long de la voie.

Ci-après le schéma de l'installation au sol du système Memor II+ au SFAV Adm :



source : CFL

Tous ces composants ont été saisis par les autorités judiciaires après l'accident.

### **2.20.1 Crocodile**

Ce composant est à considérer comme une pièce métallique statique ayant comme seule fonction d'être un conducteur électrique afin de transmettre l'impulsion Memor II+ au matériel roulant par l'intermédiaire de la brosse de contact. Un seul paramètre entre en compte pour le bon fonctionnement du système entier. Il s'agit de la hauteur du crocodile au-dessus du plan de roulement qui doit se situer entre 88 mm et 92 mm, afin que le frottement des lamelles de la brosse de contact soit garanti. Lors des travaux de maintenance du 14 février 2017, la hauteur mesurée était de 92 mm.

Partant de ce constat, le crocodile n'a pas pu être à l'origine du dysfonctionnement du système.

### **2.20.2 Armoire relais**

Des vérifications ont été effectuées au niveau de l'armoire relais. Aucune anomalie n'a pu être constatée. Les circuits de commande des signaux sont sécuritaires. Ils sont conçus de façon à ce que toute défaillance soit reportée au poste d'aiguillage qui gère le trafic ferroviaire et rend la mise à voie libre impossible. La position du signal correspondant est dans un tel cas celui commandant l'arrêt.

Les composants Memor II+ de l'armoire relais sont d'une conception relativement simple. Des vérifications ont démontré que ni le relais, ni le câblage spécifique au dispositif Memor II+ n'ont montré de défaillances.

Partant de ce constat, les composants de l'armoire relais n'ont pas pu être à l'origine du dysfonctionnement du dispositif.

### **2.20.3 Câblage et pièces de fixations**

#### **2.20.3.1 Mesure de la tension Memor II+**

Au lendemain de l'accident des mesures de tension ont été effectuées à hauteur des crocodiles du SFP Dm et du SFAv Adm afin de vérifier le bon fonctionnement des composants au sol du système Memor II+. A l'aide d'un multimètre la tension entre le crocodile et le rail a été mesurée. Une résistance de 33  $\Omega$  a été couplée afin de simuler la charge du passage d'un train. Aucune anomalie n'a pu être constatée. Les valeurs de 15,4 V (SFP Dm) et 15,9 V (SFAv Adm) ont été mesurées. Il est à noter qu'une tension minimale de 13 V est exigée. Lors du démontage une tension de 16,7 V a été mesurée directement à la batterie. De plus, le bras de la pédale de contresens en aval du SFAv Adm a été activé afin de mesurer le temps d'inhibition du système (tension = 0 V). Un laps de temps de 17 secondes a été chronométré jusqu'à la réapparition de la tension.

### 2.20.3.2 Inspection du câblage au sol

Une dizaine de dégradations plus au moins importantes au niveau de l'isolation des câbles ont été constatées lors de l'inspection visuelle. De plus, lors du démontage avec précaution de tous les composants au sol, une cosse reliée à la pédale de contresens s'est détaché ainsi qu'une extrémité de la boucle du câble connectée à la batterie s'est cassée, démontrant ainsi la fragilité du système. Ces dégradations ont pu mettre en lumière les influences que les agressions extérieures peuvent avoir sur les composants Memor II+.



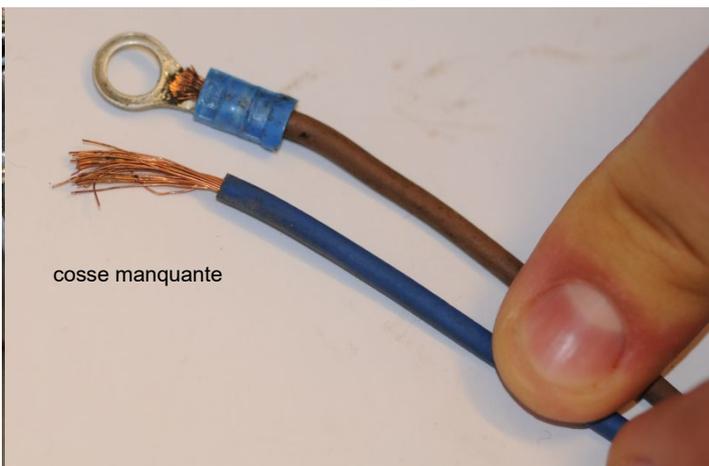
Batterie servant à l'alimentation Memor II+ à hauteur du SFAV Adm



Dégradation du câblage relié à la batterie constatée suite au démontage



Dégradation du câblage relié à la pédale de contresens (SFAV Adm) constatée suite au démontage



### 2.20.3.3 Mesure d'isolement électrique des câbles du système au sol Memor II+

A l'aide d'un contrôleur d'isolement portable, des mesures d'isolement et de résistance ont été réalisées sur tous les câbles démontés du SFAV Adm (voir partie en rouge du schéma du chapitre 2.20 - *Essais et analyses des composants au sol du système Memor II+*) afin de vérifier la conductivité et la présence de courants de fuite. Toutes les mesures se sont avérées être satisfaisantes, aucune anomalie n'a pas pu être décelée.

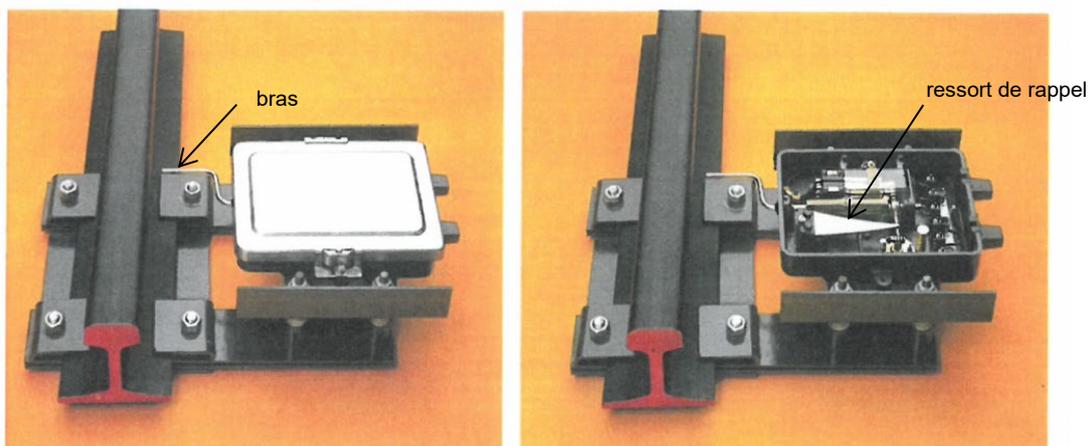
Malgré les résultats de mesures satisfaisantes, la possibilité d'un faux contact au niveau des câbles ne peut pas être exclue. Ce phénomène peut être difficile à déceler selon le cas de figure. Les agressions extérieures comme les conditions météorologiques locales peuvent avoir provoqué une perte de tension momentanée.

Partant de ce constat, un faux contact a pu théoriquement être à l'origine du dysfonctionnement du dispositif.

### 2.20.4 Pédale de contresens (type cautor 69)

#### 2.20.4.1 Composition et fonctionnement

Comme expliqué au chapitre 2.16.2.1, la pédale de contresens sert à inhiber temporairement l'action de supervision du dispositif Memor II+ afin d'éviter la prise en charge de ce même dispositif lorsque celui-ci est abordé à revers. L'inhibition s'effectue lors du passage des roues (position basse) par l'activation d'un bras installé à hauteur du rail, ayant comme fonction de couper le courant (pas de surveillance Memor II+) lequel est rétabli quelques secondes après le passage de la dernière roue du train.



extrait : manuel Silec détecteurs électromécaniques cautor et forfex type 69 et 82 (édition 03/86)

La pédale de contresens est composée d'un carter en fonte et d'un arbre de torsion en acier inoxydable qui absorbe l'énergie produite par le choc de la roue sur le bras et commande l'inversion des contacts électriques.

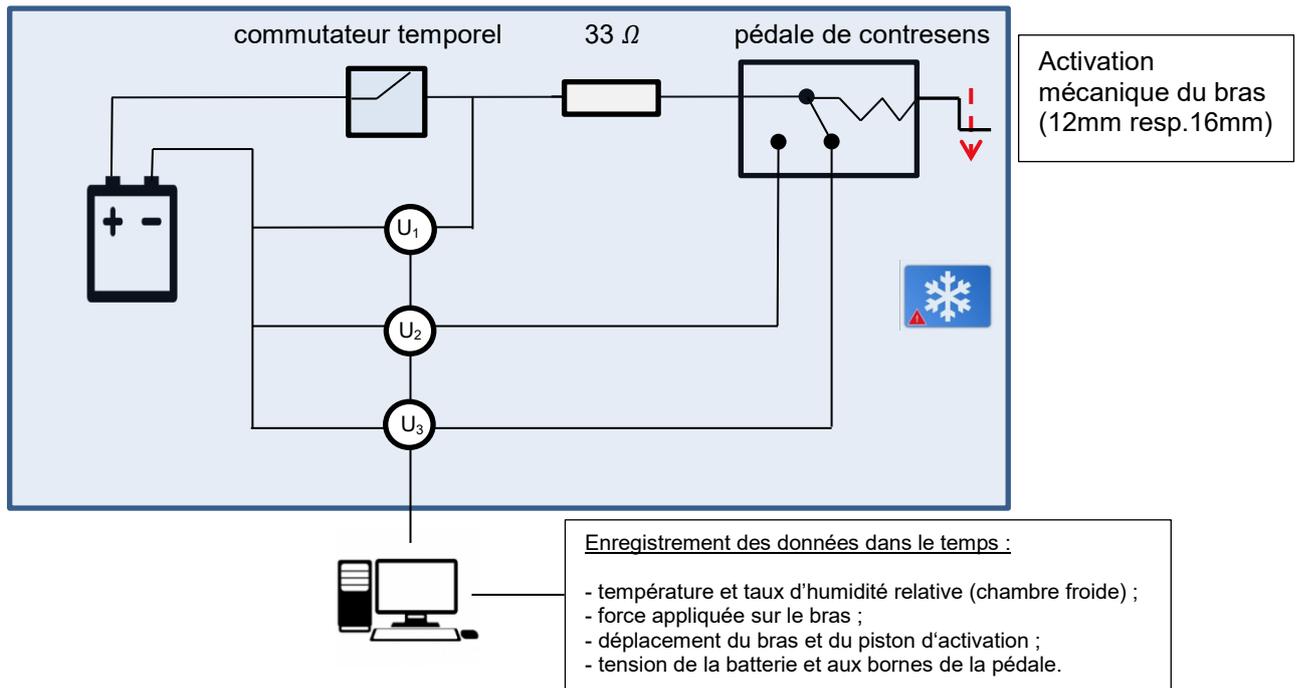
Au passage d'un train le boudin de la roue du 1<sup>er</sup> essieu abaisse le bras qui met en action le dispositif de temporisation, comprime le ressort de rappel et provoque l'établissement de certains contacts ( $U_2$ ) et la coupure d'autres contacts ( $U_3$ ).

Le mouvement de remontée du bras est actionné par un ressort de rappel lequel est freiné par un dashpot à huile afin d'assurer une durée de commutation des contacts suffisante (position haute) pour le passage du train.

## 2.20.4.2 Essais

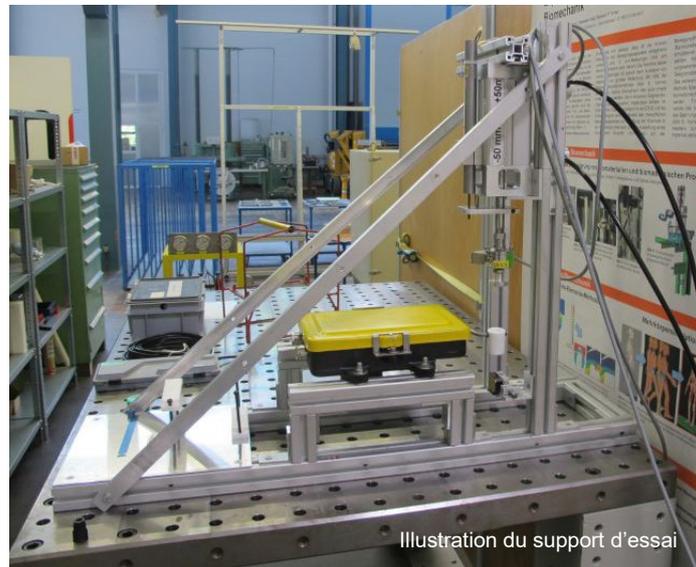
Des essais ont été réalisés dans un laboratoire indépendant afin de vérifier le bon fonctionnement de la pédale de contresens de type cautor 69 laquelle était en fonction au niveau du SFAv Adm. Les essais ont été effectués en chambre froide afin de simuler des températures hivernales. La batterie et la pédale de contresens installées au SFAv Adm ainsi que, comme référence, une nouvelle batterie et une nouvelle pédale de contresens de mêmes types que ceux impliqués dans l'accident ont été utilisées pour ces essais. Pour la validation de l'appareillage et du paramétrage des essais, les composants neufs ont exclusivement été utilisés afin d'éviter toute détérioration ou contamination pouvant influencer les résultats des essais.

### Schéma



### 2.20.4.2.1 Détails des essais

Un piston pneumatique actionne le bras de la pédale de contresens avec une fréquence définie (voir tableau ci-dessous). Les tensions à la batterie ainsi qu'à la pédale de contresens sont enregistrées en continu sur un ordinateur. Une résistance de  $33 \Omega$  est utilisée et sert à simuler le passage des roues. Afin de limiter l'usure de la batterie et d'éviter ainsi des conclusions erronées, un commutateur temporel a été connecté à la batterie (voir *Annexe IV - Extraits des valeurs enregistrées lors des essais de la pédale de contresens*) étant donné qu'en pratique le circuit n'est fermé que brièvement lors du passage d'un train.



L'Annexe III - Photos des essais en laboratoire de la pédale de contresens illustre le montage des essais en chambre froide.

Quatre essais ont été réalisés avec les paramètres suivants :

	<b>pédale/batterie</b>	<b>déplacement bras [mm]</b>	<b>activation bras [s]</b>	<b>cycle [min]</b>	<b>durée de l'essai [h]</b>
1	neuve	12	4	1	42
2	neuve	16	4	20	42
3	composants du SFAv Adm	16	4	20	22,6
4	composants du SFAv Adm	16	4	5	23,6

En ce qui concerne la température, on a simulé des conditions hivernales similaires à celles présentes lors des cas de dysfonctionnements du dispositif Memor II+ (voir chapitre 2.17.4 - *Analyse des données des enregistreurs d'évènements de tous les trains CFL ayant empruntés l'itinéraire du TER 88807 (Luxembourg - Bettembourg-frontière) en 2017*). A partir de la température ambiante (+/- 20°C) on a progressivement diminué la température jusqu'à atteindre après 8,5 heures une valeur de -7°C.

Avant de commencer les essais, une tension de 17,38 V a été mesurée aux bornes de la nouvelle batterie et de 18,19 V aux bornes de la batterie provenant du SFAv Adm.

### 2.20.4.2.2 Paramètres mesurés

Les paramètres suivants ont été enregistrés en continu sur un ordinateur :

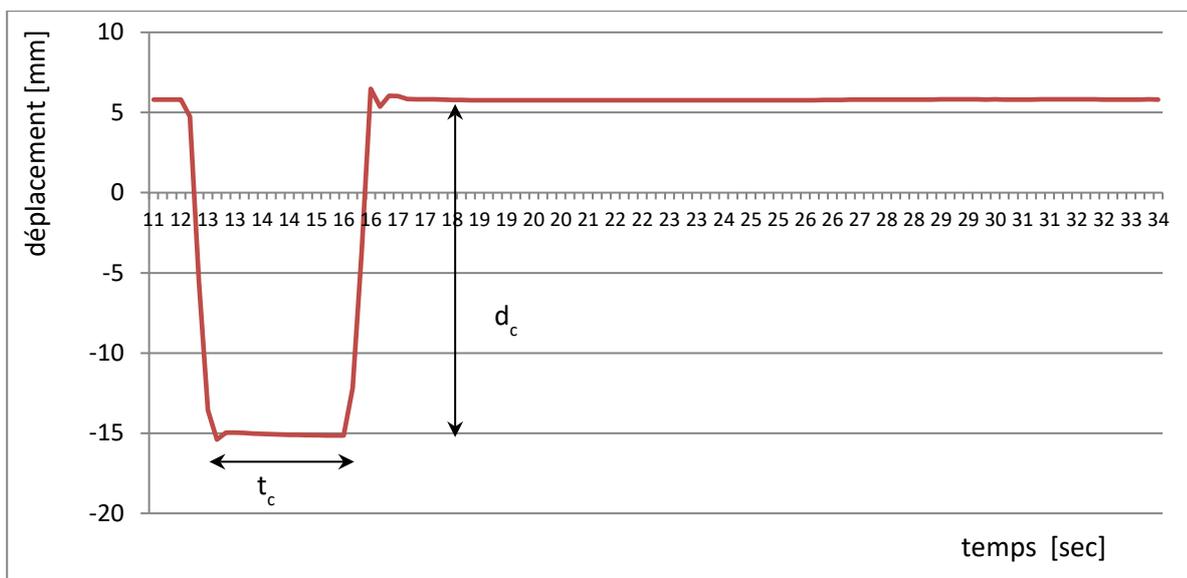
- 1) temps (5 Hz) ;
- 2) force d'activation du bras ;
- 3) déplacement cylindre d'activation;
- 4) déplacement bras d'activation ;
- 5) tension  $U_1$  (batterie),  $U_2$  (mouvement bras) et  $U_3$  (bras inactif) ;
- 6) température ;
- 7) humidité relative.

### 2.20.4.2.3 Illustrations des valeurs mesurées

Les graphiques ci-après donnent un aperçu des valeurs cycliques mesurées lors des essais. Les valeurs considérées sont issues du début de l'essai N°4 avec une température ambiante de  $-7,5^{\circ}\text{C}$ .

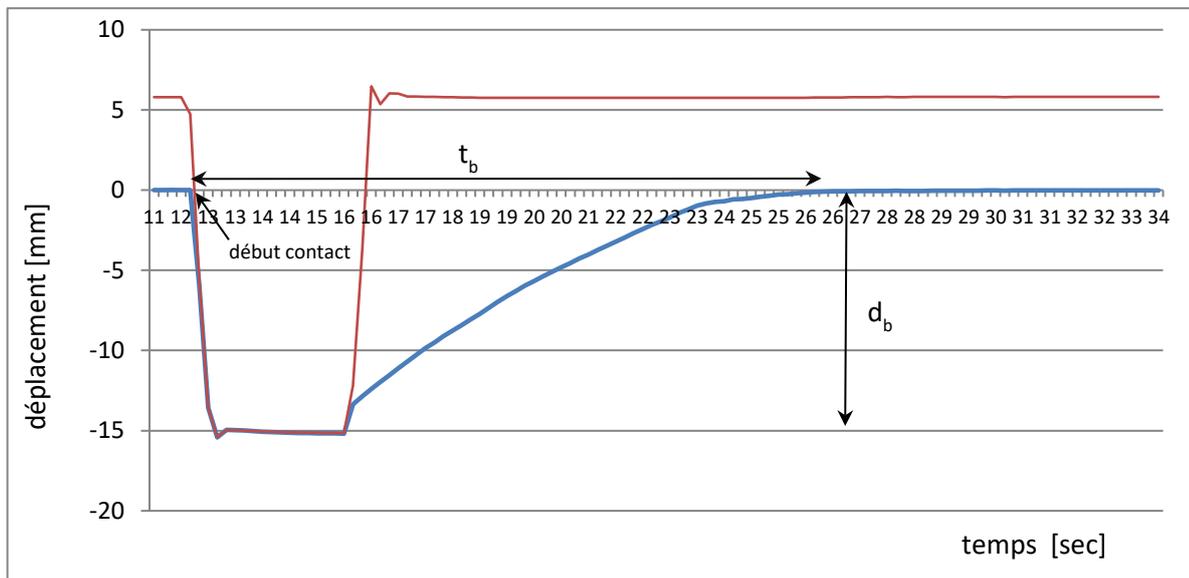
#### Déplacement cylindre d'activation

Le déplacement du cylindre d'activation ( $d_c$ ) est représenté dans le diagramme ci-dessous. Le cylindre pneumatique reste en position basse pendant environ 4 secondes ( $t_c$ ).



### Déplacement bras d'activation

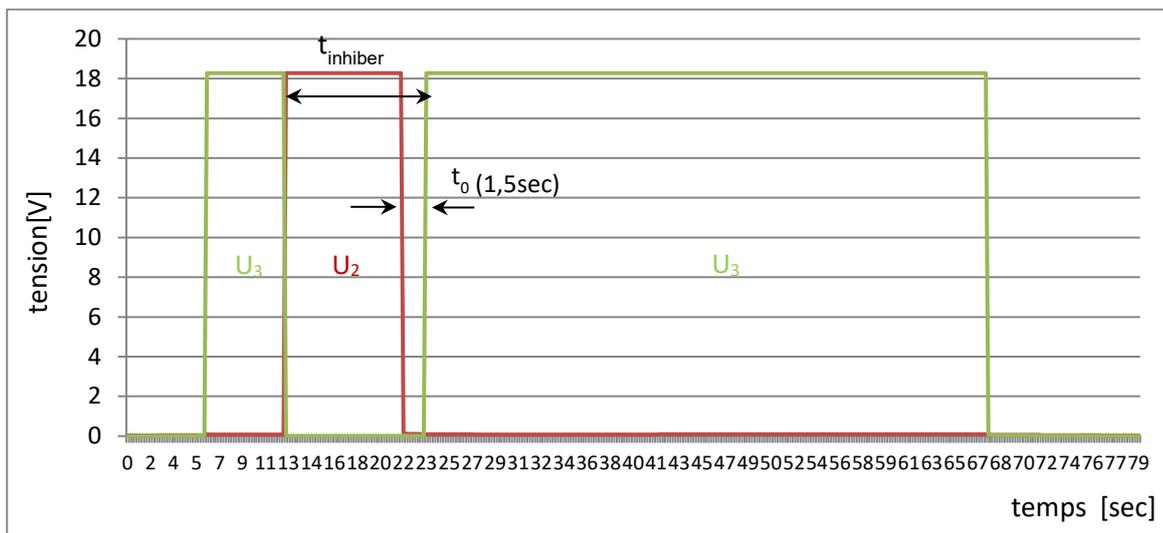
Le déplacement du bras de la pédale ( $d_b$ ) est représenté dans le diagramme ci-dessous (courbe bleue). Le déplacement du cylindre pneumatique est représenté par la courbe rouge. Le bras retrouve sa position initiale (position haute) après environ 14 secondes ( $t_b$ ). Pendant cet intervalle la supervision Memor II+ est inhibée.



### Tensions bornes pédale ( $U_2$ , $U_3$ )

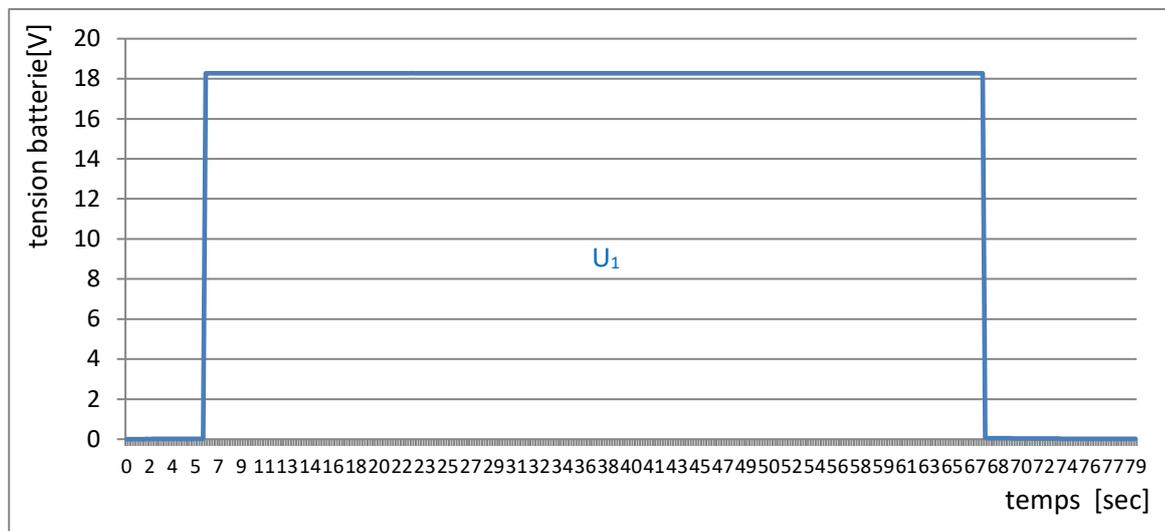
Lorsque le bras atteint la position basse une commutation de tension de sortie est réalisée.

La tension  $U_3$  atteint 0 V, au même moment la tension  $U_2$  apparaît pendant 8 secondes. La tension  $U_3$  est coupée pendant environ 10 secondes ( $t_{inhiber}$ ). Pendant ce laps de temps le système Memor II+ est inhibé. On constate que pendant environ 2 secondes ( $t_0$ ) aucune tension n'est présente. Il est à noter que ce phénomène n'a été constaté que lors des essais 3 et 4.

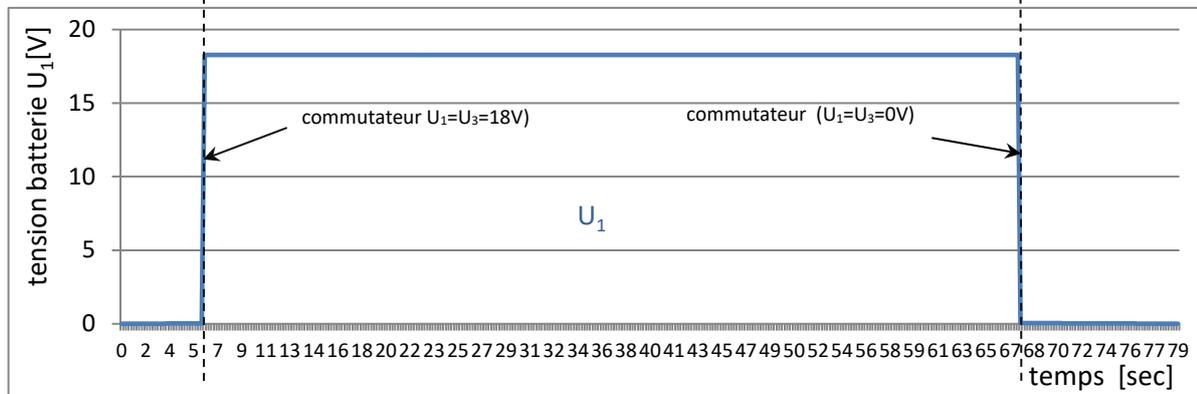
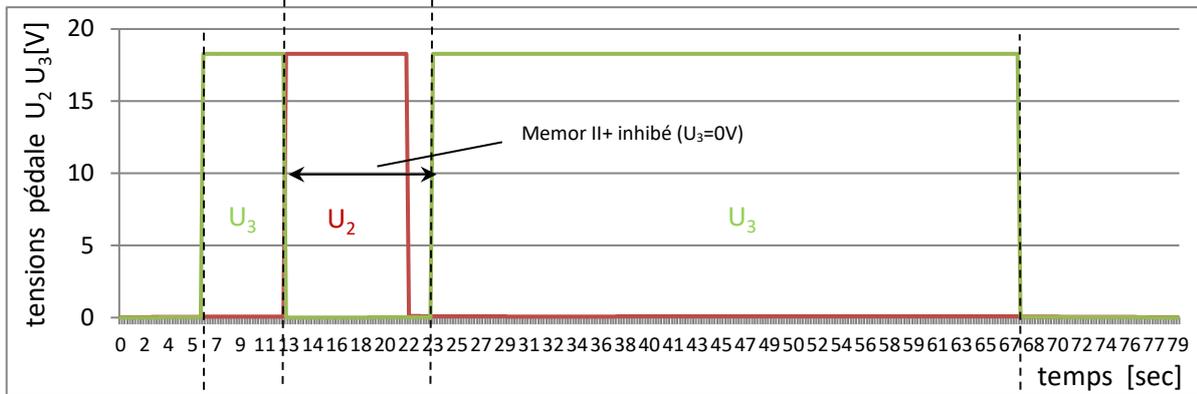
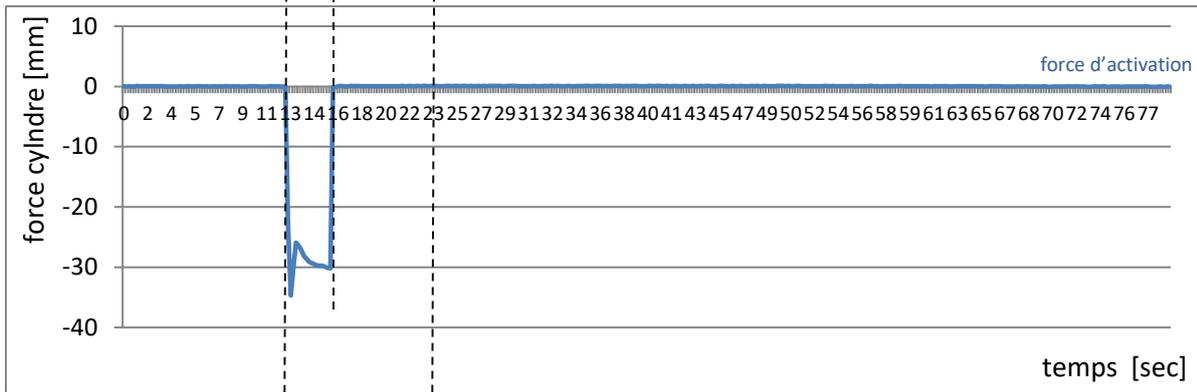
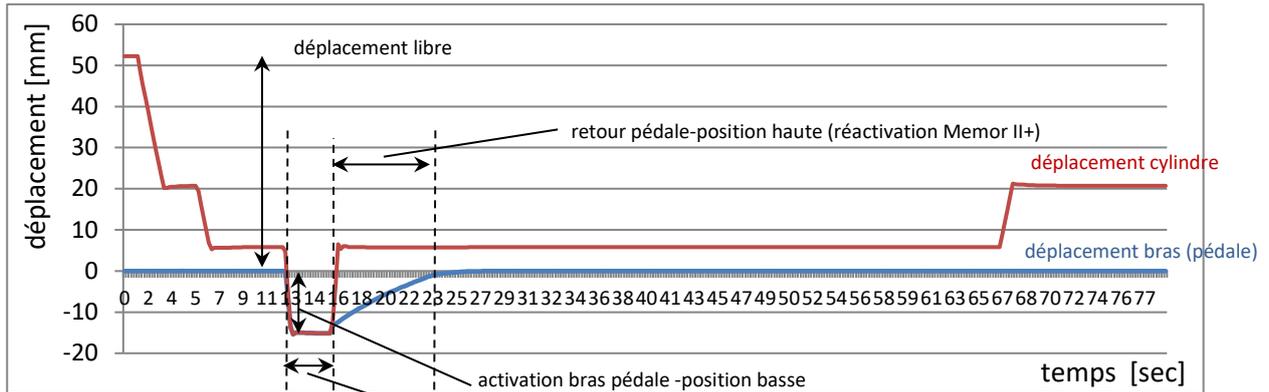


### Tension batterie $U_1$

Conformément au schéma illustré au chapitre 2.20.4.2 - *Essais*, la tension à la batterie est mesurée en permanence. Afin de limiter sa sollicitation un commutateur coupe l'alimentation environ 60 secondes après l'activation du bras jusqu'à environ 5 secondes avant son activation.



# Illustration des paramètres mesurés pendant un cycle d'activation de la pédale de contresens lors de l'essai N°4



### 2.20.4.3 Résultats des essais

Les quatre essais se sont déroulés sans interruption et sans aucun constat de défaillances techniques. Tous les composants ont fonctionné correctement. Les valeurs enregistrées ont permis de vérifier le bon fonctionnement.

Aucune irrégularité pouvant expliquer l'accident n'a été constatée lors des essais. La tension de la batterie ( $U_1$ ) était d'environ 18V lors des essais N°3 et N°4.

Cependant lors des essais N°3 et N°4 (composants du SFAv Adm) une absence de tension d'environ deux secondes a été mesurée lors du rétablissement de la tension, c'est-à-dire juste avant que le bras ne retrouve sa position initiale (voir chapitre 2.20.4.2.3 - *Illustrations des valeurs mesurées*). Pendant les essais N°1 et N°2 (composants neufs) ce comportement n'a pas été constaté, la commutation de tension a eu lieu instantanément.

Toutefois ce constat n'est pas à mettre en lien avec la cause de l'accident étant donné que la brève durée de ce phénomène ne peut pas expliquer l'absence de tension au crocodile jusqu'au passage du train suivant.

### 2.20.4.4 Analyse de l'huile dashpot de la pédale de contresens.

Des analyses comparatives de l'huile contenue dans la pédale de contresens au SFAv Adm ont été effectuées avec une huile de référence.

Tout d'abord une analyse chimique de mesure de la teneur en eau par titrage a été effectuée. Il s'est avéré que sur un volume de 60 ml de l'huile prélevé dans la pédale de contresens, environ 10% était de l'eau libre. La teneur en eau dissoute est un peu plus haute que dans l'huile de référence mais la majorité de l'eau se trouve sous forme d'eau non dissoute (eau libre).

Ensuite une filtration des huiles a été réalisée. Elle indique une présence significative de résidus solides bruns dans l'huile de la pédale de contresens, lesquels sont absents dans l'huile de référence.

De plus, afin d'analyser la composition de l'huile une analyse par chromatographie a aussi été réalisée. Elle a permis de démontrer que les 2 huiles étaient identiques.

paramètre	méthode	huile dashpot (SFAv Adm)	huile dashpot de référence
aspect		vert trouble	violet limpide
eau libre	visuelle	présence	absence
eau dissoute	Karl Fischer	144 %	95 %
résidu solide	filtration	480 mg/kg	<200 mg/kg
aspect résidu de filtration			

Les analyses comparatives ont permis de constater que l'huile contenue dans la pédale de contresens était contaminée en eau et en particules. Il n'a pas pu être défini depuis quand l'huile a été utilisée dans cette pédale de contresens.

Comme décrit aux chapitres précédents, une défaillance au niveau de la pédale de contresens pouvant expliquer la non-transmission de l'impulsion Memor II+, n'a pas pu être déterminée lors des

essais et analyses. Néanmoins une coupure de la tension en raison du blocage du bras de la pédale de contresens en position basse ne peut pas être exclue. En effet, le rappel en position haute du bras est réalisé par un ressort qui est temporisé par un dispositif hydraulique. En cas de défaillance, l'interruption de tension peut se prolonger jusqu'au passage du train suivant.

Partant de ce constat, un dysfonctionnement de la pédale de contresens a pu théoriquement être à l'origine du dysfonctionnement du dispositif.

### **2.20.5 Batterie**

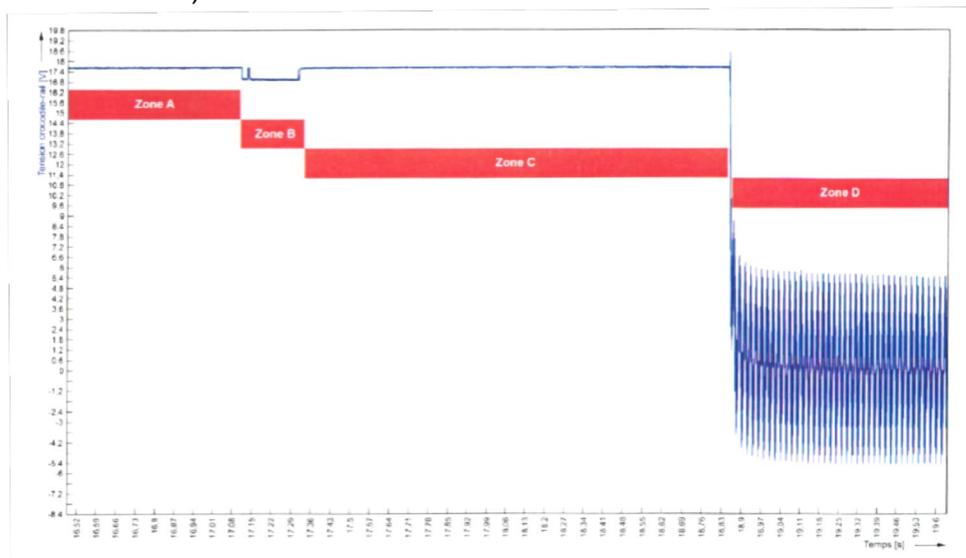
La tension de la batterie a été mesurée à plusieurs reprises après l'accident. De plus, elle a été utilisée pendant toute la durée des essais de la pédale de contresens en chambre froide, durant lesquels elle a été sollicitée environ 350 fois avec des températures ayant atteint  $-7^{\circ}\text{C}$ . Sa tension était de 18 V pendant toute la durée des essais démontrant ainsi une charge optimale. À aucun moment une chute de tension aux bornes de la batterie n'a pu être constatée.

En pratique, aucun dispositif n'informe sur une tension de batterie trop basse. Cependant si la charge de la batterie était insuffisante, on aurait détecté un plus grand nombre de cas de non transmission de l'impulsion Memor II+ lors des analyses des données des enregistreurs d'évènements.

Partant de ces constats, la batterie servant à alimenter le dispositif Memor II+ n'a pas pu être à l'origine du dysfonctionnement du dispositif.

## 2.20.6 Essais et analyses effectués sur le réseau ferré national par le GI

Suite au constat du nombre relativement élevé d'impulsions non enregistrées par le système Memor II+ lors de l'analyse à grande échelle des enregistreurs d'évènements le GI a entamé une campagne de mesures pour analyser l'origine de ces dysfonctionnements afin d'y remédier. Au total six séries de mesures ont été réalisées. Les informations contenues dans ce chapitre proviennent du GI, l'AET n'ayant pas participé à ces essais. A l'aide d'un enregistreur numérique (type DAS600), la tension électrique mise à disposition du système Memor II+ lors du passage des trains a été enregistrée sur un disque dur pendant des périodes, selon la série, allant d'un jour à plusieurs mois pour ensuite être analysée. Ci-après une illustration des données enregistrées lors du passage d'un train de type TER2N-ng, correspondant à la deuxième série de mesure. Le SFAV correspondant était en position d'avertissement respectivement d'annonce à distance de voie libre avec limitation de vitesse (potentiel positif au crocodile). Le système était alimenté par une batterie stationnaire de 18V DC (6 blocs à 3 V DC).



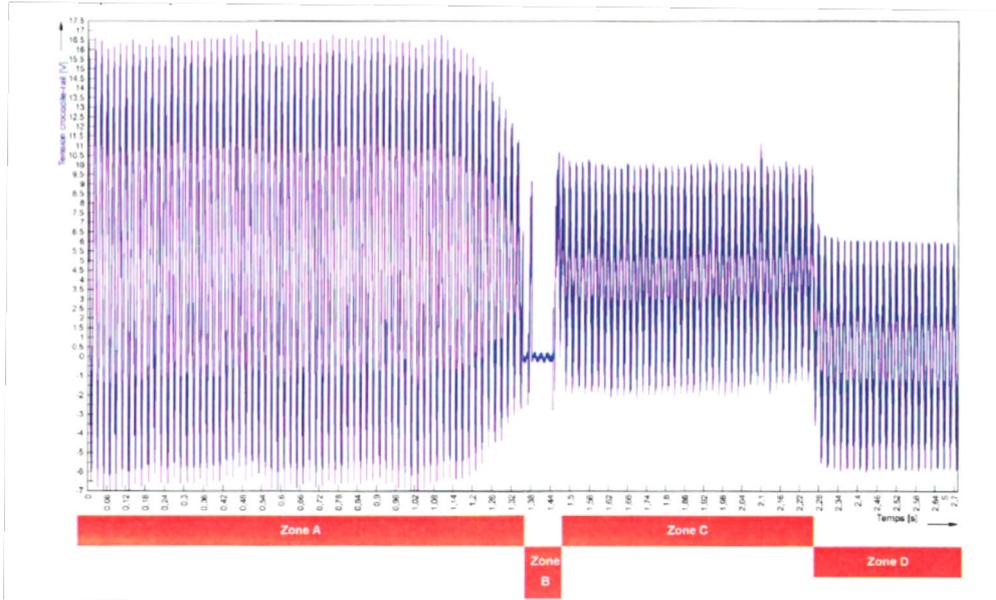
source : CFL GI

En ce qui concerne les différentes zones décrites dans le diagramme, ils indiquent :

- zone A correspond à la tension avant le passage du train ;
- zone B correspond à la tension lors du contact de la brosse du train avec le crocodile, c'est-à-dire lors du passage du train à hauteur du crocodile ;
- zone C correspond à la tension après le contact de la brosse du train avec le crocodile ;
- zone D correspond à la tension juste après l'activation de la pédale de contresens.

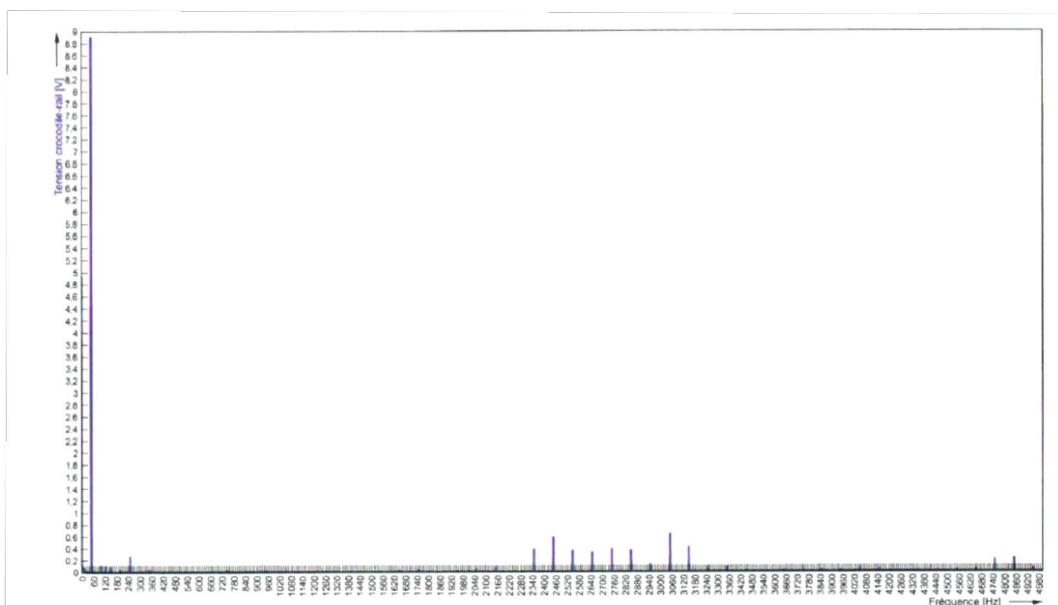
Les analyses des données enregistrées ont permis de mettre en lumière une anomalie au niveau du système au sol. En effet des chutes de tension moyenne ont été notées pendant une durée de deux jours à hauteur d'un même SFAV. Plusieurs trains composés de TER2N-ng n'ont pas reçu l'impulsion Memor II+ lors du passage du train. Des mesures et analyses subséquentes approfondies ont démontré que la tension chutait vers 0 V lors du contact de la brosse avec le crocodile (zone B).

Le diagramme ci-dessous illustre les données enregistrées lors du dysfonctionnement pendant la cinquième série de mesure :



source : CFL GI

Suite à l'analyse des composants au sol du système Memor II+ à hauteur du SFAV, le GI a pu déterminer que la variation de tension trouve son origine dans le fait que les vis de connexion reliant les six blocs à 3 V DC de la batterie stationnaire à 18V DC alimentant le système au sol Memor II+ étaient susceptibles de se desserrer. Le desserrage de l'une de ces vis était responsable de la chute de tension constatée lors du contact brosse - crocodile. Une analyse spectrale FFT a été réalisée afin de mieux déceler l'origine de cette variation. Le diagramme ci-dessous illustre l'analyse spectrale de la zone A lors du passage d'un train de type TER2N-ng où l'impulsion n'a pas été enregistrée.



source : CFL GI

On peut voir une composante à la tension fréquence de 50 Hz avec une amplitude de presque 9 V ainsi que des harmoniques impaires centrés sur 2700 Hz générés par les TER2N-ng. Il a pu être déterminé qu'il s'agit de tensions parasites de type « mode commun » présentes entre les fils de liaisons et la référence de potentiel flottante. L'enregistreur ayant une masse différente à celle du signal mesuré (tension crocodile - rail), des tensions parasites de mode commun de fortes amplitudes ont pu être notées. Dès les premières constatations liées au possible desserrage des vis de connexion de la batterie, le GI a pris des mesures afin que ce type de défaillance ne puisse plus avoir lieu.

Il est important de noter que les constats faits par la GI suite à ces essais ne sont pas à mettre en lien avec le dysfonctionnement noté le jour de l'accident, étant donné que la batterie en place au SFAv Adm était une batterie stationnaire monobloc de 18 V DC et non plusieurs batteries connectées à l'aide de câbles entre elles. Pourtant ce constat permet de souligner que dans la même optique un mauvais serrage au niveau des 2 bornes de la batterie monobloc est une possible cause de chute de tension. De plus, les tensions parasites constatées sont inhérentes aux montages effectués dans le cadre de ces essais. En réalité, aucun branchement électrique à des fins de surveillance du système Memor II+ n'est présent sur le réseau ferré.

Ces essais ont toutefois permis de souligner l'impact négatif que peut avoir un faux contact entraînant une baisse de tension au niveau du système au sol Memor II+. En effet, un mauvais contact électrique volatil peut mettre hors fonction la surveillance Memor II+ lors du passage d'un train sans que celui-ci ne puisse, selon le cas de figure, être détecté.

### 3 Analyse et conclusions

#### 3.1 Compte rendu final de la chaîne des évènements

L'enquête a permis de retracer avec une certaine précision le déroulement de l'accident.

Le mardi 14 février 2017 à 6h55, le premier conducteur du train impliqué dans l'accident commence son service au dépôt de Thionville après plus d'une semaine de repos. Sa mission consistait à assurer la conduite du train 49800 composé de deux locomotives de type T13/3000 et de 27 wagons vides de Thionville en passant par le Luxembourg jusqu'à Monceau. A sa prise de service on lui notifie qu'une mise en tête doit être effectuée avant son départ, ce qui le retarde d'environ 10 minutes. S'agissant de l'heure de pointe, il doit attendre que plusieurs TER quittent la Gare de Thionville.

Au même moment le deuxième conducteur de train impliqué dans l'accident commence son service à 7h59 à la Gare de Luxembourg. Il a comme première mission de la journée d'assurer la conduite du TER 88807 de Luxembourg-Ville jusqu'à Thionville.

Le TER 88807 quitte la Gare de Luxembourg à 08h28m58s en direction de Bettembourg avec deux minutes de retard.

À 08h31m45s le train de marchandises 49800 se met en mouvement en direction de la frontière avec un retard de 52 minutes. Il accélère jusqu'à atteindre environ 100km/h. Tous les signaux qu'il rencontre sont en position de voie libre.

À 08h42m48s le TER 88807 s'arrête en Gare de Bettembourg où tous les passagers descendent du train. Le TER repart vers la France à 08h43m22s.

Etant donné que les itinéraires des 2 trains se coupent à hauteur de l'entrée de la Gare de triage de Bettembourg entre les aiguilles n°2 et n°3 sur une distance d'environ 80 m, les chefs de circulation du PDC de Bettembourg prennent la décision de donner la priorité au train de marchandises 49800, obligeant le TER 88807 à s'arrêter en amont du SFP Dm.

Les itinéraires sont enclenchés en conséquence au PDC de Bettembourg. La position du SFP Dm exige l'arrêt du TER 88807.

Peu avant la frontière, le train de marchandises 49800 franchit le SFAv Aam à 08h43m48s en position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse (60 km/h) et passe la frontière à 08h43m55s avec une vitesse de 72 km/h. Le conducteur adapte la vitesse en conséquence pour atteindre 800 m plus loin 55,5 km/h. En amont de la frontière, il effectue les opérations liées au sectionnement.

Au même moment le TER 88807 continue à accélérer en direction de la frontière. À 08h44m18s, la position du soleil est telle que le conducteur du TER 88807 a pu être fortement ébloui. À partir de 08h44m43s le SFAv Adm est visible, lequel est franchi 7 secondes plus tard par le TER avec une vitesse de 123 km/h.

Le conducteur du TER, qui ne se rend pas compte de la position d'avertissement du SFAv Adm, continue d'accélérer alors qu'il aurait dû engager un freinage pour atteindre 800 m plus loin 60 km/h. En raison d'un dysfonctionnement à hauteur du SFAv Adm, il n'y a pas de tension à la partie au sol du système Memor II+. L'absence de transmission d'impulsion a comme conséquence que la conduite du train n'est pas surveillée par la partie embarquée du système Memor II+, lequel aurait dû activer un freinage automatique du train.

Les deux trains continuent leur trajet.

En amont du SFP Am en position de voie libre avec limitation de vitesse, le conducteur du train de marchandises 49800 continue de réduire la vitesse, il franchit le signal à 08h45m15s avec une vitesse de 47 km/h.

À 08h45m17s, le SFP Dm devient visible pour le TER 88807. Cinq secondes plus tard la commande de freinage pneumatique est activée par le conducteur du TER.

À 08h45m24s le TER 88807 franchit le SFP Dm avec une vitesse de 131 km/h. L'impulsion Memor II+ atteint correctement le dispositif embarqué en cabine.

Au même moment le conducteur du train de marchandises aperçoit les lames de l'aiguillage n°2 en position de voie déviée. En relevant le regard il voit le TER se diriger vers lui. Il regarde à nouveau les aiguilles et se rend compte qu'il y aura collision. Il quitte la cabine et court vers l'arrière de la locomotive pour se mettre à l'abri.

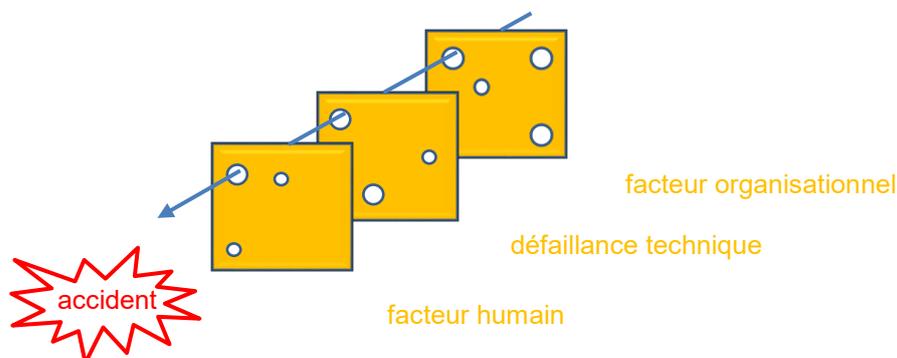
À 08h45m35s, il y a collision à hauteur de l'aiguille n°3. La première locomotive du train de marchandises 49800 s'encastre dans la première caisse de l'automotrice du TER 88807. Le conducteur du TER est tué sur le coup, l'accompagnateur est projeté vers l'avant et est blessé. Le conducteur du train de marchandises tombe dans le couloir de la locomotive au sol et est blessé. Immédiatement après l'impact, les secours sont organisés.

L'enquête a permis de mettre en évidence que le conducteur du TER 88807 a utilisé l'application de messagerie « *Whatsapp* » sur son téléphone portable au cours de son trajet vers Thionville, sans pouvoir déterminer avec précision à quel(s) moment(s) cela a eu lieu.

## 3.2 Discussion

Les accidents ne trouvent généralement pas leur origine dans une cause unique. C'est plutôt la conséquence d'une succession de faits et de décisions qui permettent à un certain moment que toutes les conditions soient données pour qu'un accident ait lieu. Très souvent si l'on retire un élément de cette chaîne, aucun événement sortant de l'ordinaire n'a lieu. L'accident du 14 février 2017 ne déroge pas à cette règle.

Partant du modèle de Reason<sup>13</sup> (« Swiss cheese model »), on peut illustrer les raisons des défaillances plus ou moins latentes qui ont permis que l'accident ait lieu.



Le « Swiss cheese model » est un modèle d'organisation pour la lutte contre les défaillances dans lequel les défenses sont représentées par une série de couches comportant chacune des failles. Les trous dans chaque couche représentent les failles de sécurité.

Les failles font partie intégrante du système. Ces défenses ont pour but de garantir une sécurité suffisante, sachant qu'une sécurité absolue n'existe pas. Il est important de minimiser ces failles afin de diminuer la probabilité qu'un accident ne puisse avoir lieu.

Un système sûr peut être décrit comme un système qui se protège par une suite de défenses contre la survenance d'accidents. Aucune de ces défenses ne peut garantir, à elle seule, la sécurité. Cependant leur empilement finit par conférer au système une fiabilité acceptable. Toujours selon Reason, les défaillances peuvent être regroupées en trois groupes :

- facteur humain ;
- défaillance technique ;
- facteur organisationnel.

La succession des faits, des choix ainsi que des comportements le jour de l'accident, mais aussi ceux dans le passé ont permis aux défaillances plus ou moins latentes d'inhiber lors de l'accident toutes les défenses du système ferroviaire. Des défaillances dans les 3 groupes ont pu être constatées lors de l'enquête de sécurité.

---

<sup>13</sup> James Reason est un professeur de psychologie et pionnier historique des études sur les causes de la survenance d'accidents liés au facteur humain.

### 3.2.1 Facteur humain

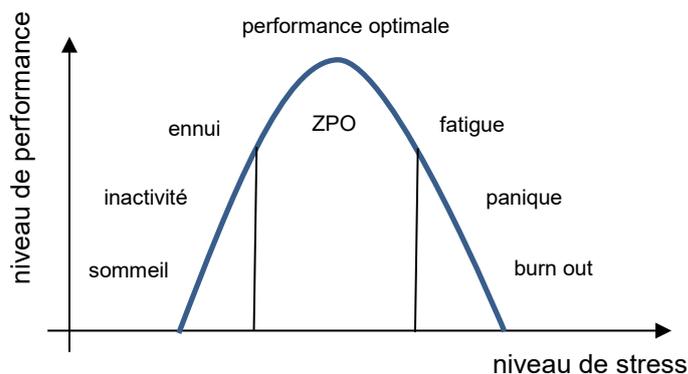
Le facteur humain a joué un rôle lors de la survenance de la collision. En effet, l'analyse de l'enregistreur d'évènements a mis en lumière que le conducteur du TER 88807 n'a pas réagi au passage du SFAV Adm en position d'avertissement alors que la réglementation lui imposait de réduire la vitesse pour s'arrêter environ 1200m en aval, devant le SFP Dm en position d'arrêt. Au vu des manipulations faites par le conducteur du TER 88807 quelques instants avant la collision et sachant que le dispositif d'aide à la conduite était activé, on peut objectivement écarter la thèse que cet acte ait été délibéré.

Considérant le fait que le conducteur du TER 88807 ne s'est pas rendu compte de la position d'avertissement du SFAV Adm, bien qu'il avait satisfait aux exigences de la réglementation concernant l'acquisition de la connaissance de ligne et qu'il connaissait donc l'itinéraire et l'emplacement des signaux, on peut parler d'erreur humaine<sup>14</sup>.

Plusieurs facteurs ayant pu avoir une influence sur le comportement du conducteur ont été mis en évidence lors de l'enquête de sécurité.

Tout d'abord la charge de travail en amont du SFAV Adm était relativement faible sur cette partie de la ligne. La conduite n'exigeait pas de manipulations spécifiques à l'exception de l'adaptation de la vitesse par rapport à la signalisation. La concentration peut avoir été influencée négativement par cette faible charge de travail, permettant un éventuel état distrait du conducteur du TER 88807.

En effet, selon la loi de Yerkes-Dodson<sup>15</sup>, il existe une relation en forme de U inversé entre la performance cognitive et le niveau de stress. Un niveau de stress trop bas diminue les performances cognitives. Un certain niveau de stress favorise la performance jusqu'au pic de "zone de performance optimale" (ZPO). Passé ce pic le niveau de performance cognitive diminue.



Ensuite, la météo a aussi pu avoir influencé la conduite du train. Le matin de l'accident le ciel était clair, la position du soleil était relativement basse (lever du soleil à 07h47, collision à 08h45) de manière à pouvoir éblouir fortement le conducteur du TER 88807. L'enquête n'a pas permis de définir les mesures prises par le conducteur de train afin de ne pas être ébloui (lunettes de soleil et/ou pare-soleil). En se basant sur les données contenues dans l'enregistrement d'évènements du TER 88807, la conduite du train n'a pas été adaptée afin de pallier les effets d'un éventuel éblouissement en application de l'article 8 du RGEF (voir chapitre 2.14.1.3 - *Réglementation sur l'observation des signaux*).

Cet article indique que, lorsque les conditions de visibilité sont telles qu'elles ne permettent plus au conducteur de reconnaître avec certitude l'emplacement ou la position des signaux, la vitesse des trains doit être réduite de façon à en permettre une perception nette. En cas d'incertitude sur la position du signal, il est à considérer comme un « signal douteux » et implique le respect du commandement le plus restrictif.

<sup>14</sup> L'erreur humaine est un comportement humain involontaire.

<sup>15</sup> La loi de Yerkes-Dodson est une relation empiriquement entre le niveau d'éveil et les performances cognitives.

Selon les données recueillies lors de la reconstitution, l'effet d'éblouissement a commencé environ 32 secondes en amont du SFAv Adm, donc bien avant que ce même signal ait été perceptible et a perduré jusqu'au moment de l'impact. Il est possible que le conducteur ait été gêné par le soleil, rendant la perception de la position des signaux difficiles.

En considérant la vitesse du TER, le conducteur disposait d'environ 7 secondes pour apercevoir la position du SFAv Adm ainsi que celle du SFP Dm. Ce laps de temps requiert en amont de ces signaux toute sa vigilance.

Le mode de fonctionnement du dispositif Memor II+ des TER2N-ng peut aussi avoir influencé négativement la vigilance du conducteur du TER. En effet, en cas de franchissement d'un SFAv en position de voie libre aucun avertissement sonore et visuel n'est transmis en cabine. Considérant que ceci est très fréquent et qu'à hauteur du SFAv Adm en position d'avertissement cette transmission d'information a fait défaut, il est possible que le conducteur du TER ait inconsciemment et par habitude, associé ce constat à la position de voie libre du SFAv Adm.

De plus, l'enquête de sécurité a mis en évidence que le conducteur du train 88807 a consulté l'application de messagerie instantanée « *Whatsapp* » sur son téléphone portable privé pendant la conduite. En considérant les paramètres les plus défavorables, la consultation aurait eu lieu après le départ en Gare de Luxembourg et le moment de la collision. Dans tous les cas on peut conclure que le conducteur de train a consulté son portable au moins une fois lors de sa conduite. Ni le moment précis de l'utilisation ni ses manipulations exactes n'ont pu être déterminés. Cet acte est à considérer comme un manquement aux exigences de conduite.

Le cadre réglementaire interne aux CFL, décrit au chapitre 2.14 - *Règles et réglementations*, définit les exigences auxquelles les conducteurs doivent se conformer de manière à avoir les connaissances et une vigilance suffisantes lors de l'accomplissement de leurs tâches.

L'analyse du dossier personnel du conducteur a permis de mettre en évidence que le conducteur était habilité à conduire sur cette ligne avec le matériel roulant impliqué dans l'accident. Il avait satisfait à toutes les exigences de base et de contrôles des compétences périodiques. Il était expérimenté et avait une très bonne connaissance de la ligne ainsi que du matériel roulant. De plus, il n'a dans le passé jamais fait l'objet d'une réprimande ayant pu mettre en doute son comportement au travail.

Les recherches menées n'ont pas pu déterminer la raison précise du non-respect de la signalisation par le conducteur du TER 88807. Les informations disponibles à ce sujet étant très limitées.

En règle générale le facteur humain est à l'origine du non-respect de la signalisation ferroviaire. Le tableau ci-dessus résume le nombre de franchissements non-autorisés recensés sur le réseau ferré luxembourgeois depuis 2015 :

	2015	2016	2017	2018
signaux fermés franchis sans autorisation (train)	15	2	11	5
signaux fermés franchis sans autorisation (mouvement de manœuvre)	11	8	11	7
total	26	10	22	12

source : ACF

Il est important de considérer le fait que l'être humain a des ressources cognitives limitées au-delà desquelles des actes imprécis et des erreurs se multiplient. En règle générale, il ne faut pas parler d'acte de malveillance mais plutôt d'acte d'omission.

Partant du constat que des franchissements non-autorisés de signaux ont eu lieu dans le passé et qu'ils vont certainement aussi se reproduire à l'avenir, il est primordial de mettre en place des barrières techniques pouvant systématiquement palier les conséquences d'une erreur humaine.

Objectivement on peut donc affirmer que tout système qui dépend de la fiabilité de l'homme n'est pas fiable. Une défense unique ne peut pas garantir la sécurité mais l'empilement de plusieurs défenses finit par conférer au système une fiabilité acceptable. La mise en place sur tout le réseau ferré du système de sécurité ETCS constitue une de ces barrières techniques permettant de palier les conséquences d'une erreur humaine.

### **3.2.2 Défaillance technique**

Il résulte de l'enquête de sécurité qu'une seule défaillance technique a joué un rôle dans la survenance de l'accident. Il s'agit du dysfonctionnement du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm.

Suite à l'analyse des enregistreurs d'évènements des deux trains impliqués, il s'est avéré que les deux trains ont circulé avec le système Memor II+ en service et ont reçu toutes les impulsions sur leur parcours respectif le jour de l'accident, à l'exception de l'impulsion à hauteur du SFAv Adm pour le TER 88807.

Des analyses à grande échelle des données des enregistreurs d'évènements ont démontré que depuis le début de l'année 2017, pour 15 trajets l'enregistreur d'évènements ne contient pas l'impulsion Memor II+ au SFAv Adm. Il en résulte donc que la partie sol du système Memor II+ était défaillante le jour de l'accident mais aussi auparavant. Un premier dysfonctionnement a été identifié en date du 8 décembre 2016 (voir chapitre 2.17.5.2 - *Analyse d'un échantillon de données des enregistreurs d'évènements de trains CFL ayant empruntés le même itinéraire (Luxembourg-Bettembourg-frontière) entre septembre et décembre 2016*). Il est possible que d'autres dysfonctionnements aient eu lieu auparavant.

Le dysfonctionnement était aléatoirement répétitif et limité dans le temps, étant donné que pour certaines dates lors du passage de plusieurs trains subséquents, un seul a rencontré le dysfonctionnement. Vient s'ajouter le fait que les inspections de routine (voir *Annexe VI* et *Annexe VII*) et les vérifications faites le jour de l'accident par les agents de maintenance des CFL, ainsi que les contrôles réalisés par les enquêteurs de l'AET au lendemain de l'accident n'ont révélé aucune anomalie.

L'enquête de sécurité a permis de mettre également en évidence d'autres cas de défaillance du système Memor II+ à hauteur de différents signaux sur le réseau ferré national (voir chapitre 2.17.5 - *Analyse complémentaire des données des enregistreurs d'évènements*). Suite aux diverses analyses des enregistrements d'évènements de plusieurs milliers de trajets, il s'est avéré qu'un petit pourcentage de ces trajets a été confronté à un dysfonctionnement du système Memor II+ lors du passage d'un signal, démontrant ainsi sa fiabilité limitée.

#### **3.2.2.1 Partie au sol du système Memor II+**

Fort des constats énumérés au chapitre 2.17.4 - *Analyse des données des enregistreurs d'évènements de tous les trains CFL ayant empruntés l'itinéraire du TER 88807 (Luxembourg-Bettembourg-frontière) en 2017*, des analyses plus ciblées ont été réalisées sur la partie au sol du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm. Les résultats des analyses ont permis de déterminer que le crocodile, l'armoire relais ainsi que la batterie n'ont pas été à l'origine du dysfonctionnement. Des essais effectués sur la pédale de contresens n'ont pas permis de déceler une éventuelle anomalie. Néanmoins ce constat ne garantit pas que ce composant a fonctionné correctement le

jour de l'accident. De plus, une surveillance permanente du bon fonctionnement de ce composant n'était pas prévue.

Des essais tout à fait identiques à la pratique ne sont pas réalisables en laboratoire. Les agressions extérieures comme les vibrations ou des conditions météorologiques très spécifiques varient en pratique en permanence et ne peuvent pas être complètement reproduites. Toute simulation a donc ses limites.

De plus des analyses comparatives ont permis de constater que l'huile contenue dans la pédale de contresens a été contaminée en eau et en particules, modifiant ainsi sa densité et le comportement de l'effet de ressort.

Prenant en compte tous ces facteurs, un dysfonctionnement de la pédale de contresens ne peut pas être écarté. L'addition de tous ces facteurs a pu avoir comme conséquence, à différents degrés, que la tension a chuté, soit parce que le bras d'actionnement est resté bloqué en position basse lors du passage d'un précédent train, soit en raison d'un faux-contact volatil, coupant ainsi la tension du dispositif Memor II+.

La pédale de contresens a été mise en service à hauteur du SFAv Adm en date du 11 novembre 2016. Le premier dysfonctionnement constaté a eu lieu en date du 8 décembre 2016. La possibilité existe que le dysfonctionnement ait débuté à partir de la date de mise en service.

En ce qui concerne le câblage installé le long de la voie, des mesures d'isolement et de résistance ont été réalisées et aucune anomalie n'a pu être décelée. Les résultats de ces mesures sont cependant à relativiser étant donné que des mesures à hauteur du SFAv Adm sur tout le dispositif au sol Memor II+ n'ont pas pu être effectuées.

Toutefois, plusieurs dégradations au niveau de l'isolation des câbles ont été constatées lors de l'inspection visuelle. De plus, lors du démontage de tous les composants au sol, une cosse reliée à la pédale de contresens s'est détachée ainsi qu'une extrémité de la boucle du câble connectée à la batterie s'est cassée, mettant en évidence ainsi la relative fragilité du dispositif. Une possible chute de tension au niveau du câblage ne peut pas être écartée. Des agressions extérieures ont pu permettre la survenance d'un faux-contact faisant ainsi chuter la tension du dispositif Memor II+.

Toutes les recherches et analyses effectuées dans le cadre de cette enquête n'ont pas pu déterminer avec certitude la raison du dysfonctionnement du dispositif Memor II+.

De plus, les analyses des données des enregistreurs d'évènements ont mis en lumière une certaine tendance. Les cas de non transmissions ont majoritairement eu lieu en début de matinée lorsque les températures étaient basses. Cependant les travaux de maintenance ont été réalisés plus tard dans la journée lorsque les températures étaient plus élevées, rendant difficile une détection d'avarie liée aux températures extérieures basses. Le fait que le dispositif Memor II+ n'informe pas sur l'absence de tension rend une détection de dysfonctionnement difficile.

L'absence de procédures détaillées pour le remplacement des composants au sol du système Memor II+ ne garantit pas que ces travaux soient toujours effectués à l'identique. Dans l'optique de garantir une maîtrise des risques optimale liée à ces travaux, il est souhaitable de définir au préalable tous les gestes et paramètres à respecter par les agents de maintenance afin qu'il n'y ait aucun doute à ce que les travaux soient toujours effectués à l'identique par tout le personnel de maintenance. Ces procédures devraient être issues de la validation initiale du système RPS. Des procédures détaillées, pour tous les cas de figures, auraient permis d'harmoniser les différentes étapes et auraient permis de garantir un même niveau de qualité de travail.

Il n'a pas été possible d'analyser, dans le cadre de l'enquête, les étapes de validation du système RPS ainsi que d'éventuelles études des risques effectuées par les CFL dans le cadre de sa mise en service initiale dans les années 70. Les CFL avaient repris à l'époque de la SNCF ce système afin de garantir l'interopérabilité des engins avec les réseaux ferrés voisins. Les CFL ne disposent plus

à ce jour d'informations y relatives. Il n'est donc plus possible de retracer ce qui a été validé à l'époque. Ceci aurait permis d'analyser en détail l'envergure de toutes les démarches, essais et constatations effectués avant son déploiement.

### 3.2.3 Facteur organisationnel

Plusieurs facteurs organisationnels ayant joué un rôle lors de l'accident au niveau du gestionnaire d'infrastructure ainsi que de l'entreprise ferroviaire CFL ont été constatés au cours de l'enquête. Il est important de noter que ces facteurs n'ont pas de lien direct avec la collision, mais doivent plutôt être considérés comme des failles latentes présentes en arrière-plan du système ferroviaire, lesquelles ne constituent pas à elles seules un risque immédiat. Cependant elles ont permis la présence de faiblesses dans les défenses principales, lesquelles ont contribué à la survenance de la collision. Lors de l'accident, ces défenses principales étaient le conducteur de train ainsi que le système Memor II+.

Une première faille latente est le fait que les données des enregistreurs d'évènements n'ont été analysées que lors des évaluations individuelles annuelles de chaque conducteur de train. Une analyse systématique de ces données aurait pu alerter sur le dysfonctionnement présent au SFAv Adm avant l'accident ainsi que sur tout autre dysfonctionnement présent sur le réseau ferré national et on aurait pu, par conséquent, y remédier immédiatement. Un premier dysfonctionnement au SFAv Adm a pu être constaté le 8 décembre 2016, néanmoins ne s'agissant que d'une analyse d'un échantillon de trains, il ne peut pas être exclu qu'avant cette date d'autres dysfonctionnements y ont eu lieu.

À travers l'analyse à grande échelle des données des enregistreurs d'évènements, on a pu déterminer que le phénomène de non-transmission d'impulsions Memor II+ s'est produit au niveau du réseau ferré national pour un petit pourcentage des trains. Il peut être objectivement supposé que ce manque de fiabilité était présent depuis la mise en service du système Memor II+.

Une deuxième faille latente a été le fait que pour le type de TER impliqué dans l'accident, aucun avertissement sonore et visuel n'est transmis en cabine lors du franchissement de signaux en position de voie libre. Uniquement la signalisation latérale informe le conducteur de train sur la position de voie libre d'un SFAv. Ce type de paramétrage du système rend la détection d'une défaillance du système Memor II+ par le conducteur de train impossible, étant donné qu'il ne peut pas distinguer entre un dysfonctionnement et un signal en position de voie libre. Une recommandation (LU-CF-2017-001) a été émise quelques semaines après la survenance de l'accident afin de remédier à cette faille.

Une troisième faille latente concerne la culture proactive de notifications d'évènements liés à la sécurité au sein de l'entreprise ferroviaire. En effet, il s'est avéré que pour tous les cas de dysfonctionnements du système Memor II+ constatés lors des analyses à grande échelles des enregistreurs d'évènements, pour lesquels le signal acoustique en cabine a fait défaut, aucune notification de dysfonctionnement n'a été effectuée par les conducteurs de train, en application de la réglementation énumérée aux chapitres 2.14.1.4 - *Pannes du système Memor II+ à bord des engins moteurs*, 2.14.1.5 - *Pannes sol du système Memor II+* et 2.14.2 *Réglementation sur les pannes du système Memor II+*. Considérant toutefois le fait que les missions d'un conducteur de train ne consistent pas à se focaliser sur le bon fonctionnement du dispositif Memor II+, l'absence de notifications constatée dans le cadre de ces analyses, souligne un niveau de sensibilisation et d'engagement général insuffisant dans le cadre de la culture proactive de notifications d'évènements liés à la sécurité au sein de l'entreprise ferroviaire.

Une quatrième faille latente a été constatée au niveau des procédures définissant les travaux de maintenance de la partie au sol du système Memor II+. En effet, le personnel de maintenance ne disposait pas de procédures détaillées indiquant les manipulations et contrôles à réaliser lors de travaux de maintenance et de remplacements de composants au sol. De plus, tous les contrôles et travaux de maintenance avaient été effectués conformément aux procédures internes existantes du

GI quelques semaines avant l'accident ainsi que quelques heures après la collision. Selon les affirmations des agents de maintenance, ces contrôles n'ont révélé rien d'anormal. La conclusion émerge que ces procédures ne permettent pas de détecter certaines formes de dysfonctionnements et que des améliorations à ce niveau seraient à réaliser. Considérant l'exposition des composants au sol du système Memor II+ aux agressions extérieures (météorologiques et mécaniques), une périodicité biannuelle de certains travaux de maintenance est insuffisante. Les essais décrits au chapitre 2.20.6 - *Essais et analyses effectués sur le réseau ferré national par le GI* ont démontré que les travaux de maintenance périodiques prévus ne garantissent pas le bon fonctionnement du système.

Le système de gestion des risques décrit au chapitre 2.2 - *Système de gestion de la sécurité ferroviaire* n'a pas considéré ces 4 failles latentes comme un risque potentiel. Cela a eu comme conséquence que la démarche PDCA n'a pas pu être effectuée par le GI respectivement par l'EF afin de combler ces failles.

Une cinquième et dernière faille latente est le fait que la mise en service du système de sécurité ETCS a duré plus longtemps qu'initialement prévue. Il avait été décidé en 1999 d'équiper le réseau ferré national du système de sécurité ETCS et que pendant la phase de transition le système Memor II+ devait être utilisé. Il était prévu que le système de sécurité ETCS soit opérationnel en 2009. Toutefois cette date a dû être reportée à plusieurs reprises. Les raisons de ces reports sont multiples. Elles trouvent leur origine, entre autre, au niveau européen où certaines décisions ont été prises avec retard. Le fait est que ce report a eu comme conséquence que le système Memor II+ a encore été utilisé pendant plus d'une décennie. Sachant que ce dispositif n'est pas un système de sécurité informant son utilisateur en permanence sur son bon fonctionnement, il en résulte que le niveau de sécurité du système ferroviaire était inférieur à celui du système de sécurité ETCS. Ce constat est confirmé par l'enquête de sécurité qui a permis de mettre en évidence que le système Memor II+ n'est pas fiable. Les analyses des échantillons de données des enregistreurs d'événements précitées ont mis en lumière plusieurs cas de non-transmission d'impulsion Memor II+, qui ne trouvent pas leur origine dans une cause unique. D'un point de vue technique on peut supposer que depuis la mise en service du système Memor II+ des cas de non transmission d'impulsion Memor II+ ont eu lieu. Néanmoins pour tous ces cas, la vigilance du conducteur de train respectivement l'état du trafic ferroviaire était tel qu'un accident a pu être évité.

Toutes les failles latentes énumérées dans ce chapitre n'ont pas de cadre réglementaire obligatoire et ne constituent pas un manquement à une exigence définie. Cependant dans un souci d'amélioration de la sécurité il est souhaitable de mettre en place des mesures de prévention en relation avec ces points faibles. Comme évoqué précédemment un empilement d'un plus grand nombre de défenses confère au système une fiabilité acceptable.

En outre, il est à noter qu'une analyse du processus d'homologation du dispositif RPS lors de sa mise en service initiale, dans les années 1970, n'a pas pu être effectuée. Selon les informations reçues par les CFL, les réflexions menées et les actions engagées à l'époque par les acteurs impliqués n'ont pas été documentées. Il en résulte qu'un retraçage des étapes de validation ainsi que la détection d'éventuelles failles n'ont pas pu être effectués.

Dès les premières constatations de l'enquête de sécurité quelques semaines après l'accident des recommandations de sécurité (voir chapitre 3.5 - *Recommandations immédiates*) ont été formulées par l'AET afin de remédier à une bonne partie de ces failles latentes.

### 3.3 Conclusions

Le mardi 14 février 2017, le Luxembourg a connu un accident ferroviaire tragique à Dudelange. La collision a eu lieu à l'endroit le plus défavorable où les deux trains se trouvaient nez à nez sur la même voie. Ceci a eu comme conséquence que la majorité de l'énergie a été absorbée par la déformation des deux engins de tête. On dénombre une victime décédée, le conducteur du TER.

Il est important de noter que la majorité des accidents trouvent leur origine dans le fait qu'à un moment donné un acte inapproprié a été effectué, suivi par une inhibition de toutes les barrières de sécurité. Cette inhibition est le résultat de failles souvent inconnues, présentes au sein de chaque mesure de sécurité (barrière).

L'enquête de sécurité a mis en lumière le fait que la combinaison de deux facteurs a permis la survenance de l'accident. Le premier est le facteur humain, le conducteur du TER n'ayant pas réagi à la position de certains signaux ferroviaires. Le deuxième est de nature technique et se situe au niveau du système au sol Memor II+, lequel était défaillant à hauteur du SFAv Adm. Vient s'ajouter à cela le fait qu'une collision entre ces deux trains n'était géographiquement possible qu'à cet endroit où les deux itinéraires se sont croisés. Cette constellation n'était donnée que pendant quelques secondes.

Il a été déterminé que non seulement au SFAv Adm mais à différents endroits du réseau ferré luxembourgeois, des défaillances ont eu lieu dans le passé lesquels n'ont jamais été décelées. Ce problème de non-détection trouve son origine dans le mode de fonctionnement propre du système Memor II+, mais aussi dans la réglementation de surveillance et de maintenance établie de ce même dispositif. Des facteurs organisationnels au niveau du gestionnaire d'infrastructure ainsi que de l'entreprise ferroviaire CFL ont été constatés au cours de l'enquête, lesquels ont eu comme conséquence que les faiblesses du système Memor II+ sont restés indétectées.

En 1999, les CFL ont pris la décision d'équiper le réseau ferré du système de sécurité ETCS. Ce système permet d'atteindre un niveau de sécurité plus élevé. Toutefois sa mise en service a pris beaucoup plus de temps qu'initialement prévu, continuant à exposer le trafic ferroviaire aux failles énumérées dans ce rapport.

Il est important de souligner que suite à l'accident, la conduite en ETCS pour le matériel roulant voyageurs des CFL est devenue la règle sur le réseau ferré national. On peut donc aujourd'hui objectivement relativiser les constats faits lors de l'enquête de sécurité en ce qui concerne le système Memor II+, étant donné que son utilisation n'est plus que très limitée au Luxembourg. L'exposition aux failles décrites dans ce rapport, présente jusqu'au jour de l'accident sur le réseau ferré national, n'existe plus dans cette forme et envergure. Vient s'ajouter le fait que des mesures de sécurité ont été prises suite à l'accident permettant de mieux détecter d'éventuelles anomalies.

Il est indispensable que toutes les entreprises ferroviaires nationales mais aussi étrangères prennent les mesures techniques et financières appropriées afin d'équiper le matériel roulant avec le système de sécurité ETCS de manière à garantir une sécurité suffisante sur le réseau ferré national.

Le système de contrôle automatique des trains ETCS est un système de sécurité qui a l'avantage d'informer le conducteur de train en permanence sur la vitesse maximale autorisée, assurant ainsi le respect de la signalisation en permanence. Contrairement au système Memor II+, tout dysfonctionnement du dispositif est reporté automatiquement au personnel de conduite qui peut ainsi prendre les mesures de sécurité adéquates.

### 3.4 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 ;
- Les deux conducteurs de train impliqués dans l'accident étaient détenteurs d'une licence de conduite valable. Ils étaient formés et habilités à conduire le matériel roulant impliqué dans l'accident sur le réseau ferré luxembourgeois ;
- L'enquête de sécurité a permis d'écarter la thèse d'un acte délibéré ayant mené à la collision ;
- En date du 14 février 2017, aucun ordre écrit n'a été émis aux trains 88807 et 49800 ;
- Aucun rapport d'incident en relation avec le système Memor II+ au SFAv Adm n'a été émis pour la période du 1<sup>er</sup> janvier 2016 au 14 février 2017;
- Selon les documents fournis par les CFL, la maintenance de l'équipement Memor II+ au sol et à bord du matériel roulant a été réalisée selon les prescriptions en vigueur ;
- L'itinéraire du train de marchandises 49800 était correctement établi. 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 marchandises a adapté correctement la vitesse du train par rapport à la signalisation rencontrée lors de son trajet vers Bettembourg ;
- La charge de travail pour le conducteur du TER 88807 était relativement faible en amont du SFAv Adm ;
- La position du soleil était telle qu'il a pu fortement éblouir le conducteur du TER 88807 au passage du SFAv Adm et du SFP Dm.
- Dans le cas du franchissement d'un signal douteux à hauteur du SFAv Adm, la conduite du TER 88807 n'a pas été adaptée de sorte à pouvoir s'arrêter devant le SFP Dm ;
- Le conducteur du TER 88807 disposait d'environ 7 secondes pour apercevoir aussi bien le SFAv Adm que le SFP Dm ;
- 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 ;

- Le conducteur du TER 88807 a consulté, malgré l'interdiction réglementaire, l'application « *Whatsapp* » sur son téléphone portable pendant la conduite du train entre le départ en Gare de Luxembourg et le moment de l'impact ;
- Le système Memor II+ a la particularité qu'en cas de défaut de la transmission d'une impulsion du sol vers le véhicule, aucune information n'est transmise au personnel de conduite et aux postes de desserte ;
- 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 défaillances à l'installation au sol du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm ont pu être identifiées à plusieurs reprises depuis le début de l'année 2017 ;
- Les CFL n'effectuaient pas d'analyses systématiques des enregistreurs d'évènements. Seul un échantillon limité de ces données était analysé afin d'évaluer la conduite du personnel de conduite ;
- L'enquête a permis de mettre en lumière des dysfonctionnements du système Memor II+ lors de quasiment toutes les séries d'analyses des enregistrements d'évènements ;
- Pour tous les cas de non-transmissions d'impulsion Memor II+ constatés dans le cadre des séries d'analyses des enregistrements d'évènements, aucune notification de dysfonctionnement n'a été transmise par le personnel de conduite ;
- Pour certains cas de non-transmissions d'impulsion Memor II+ constatés dans le cadre des séries d'analyses des enregistrements d'évènements, la signalisation imposait également un arrêt du train comme le jour de l'accident ;
- L'huile contenue dans la pédale de contresens (SFAv Adm) était contaminée en eau et en particules ;
- Toutes les inspections et analyses effectuées au niveau de la partie au sol du système Memor II+ à hauteur du SFAv Adm n'ont pas permis de déterminer l'origine précise de la défaillance ayant permis la collision;
- Les CFL ne disposent d'aucune information relative aux démarches et réflexions faites lors de la mise en service initiale du système RPS ;
- Les CFL ne disposent pas d'une analyse des risques en relation avec l'utilisation du système RPS ;
- La mise en place et l'homologation du système de sécurité ETCS sur tout le réseau ferré national ainsi que sur celui des pays limitrophes ont pris plus de temps que prévu et n'étaient pas encore achevées le jour de l'accident ;
- Le personnel de maintenance suit les instructions de la check-list reprise en Annexe IX, établie sur base de l'instruction de service commune - IF/MT N°29. Il ne dispose pas de procédures détaillées en relation avec les travaux de remise en état de la partie au sol du système Memor II+ dans le cas d'un dysfonctionnement technique ;
- L'enquête a permis de mettre en lumière plusieurs facteurs pouvant expliquer le non-respect de la signalisation par le conducteur du TER. L'enquête n'a pas permis de déterminer avec certitude la raison de l'omission ;

- L'enquête de sécurité n'a pas permis de définir la cause exacte de la défaillance du système Memor II+. Toutefois la possibilité de la survenance d'un faux contact au niveau des câbles ou d'une défaillance de la pédale de contresens a été constatée, même si aucun élément factuel ne permet de l'attester.

### 3.5 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 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 SFAV, une impulsion positive ou négative en fonction de la position du SFAV. 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 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.

### 3.6 Mesures préventives et correctives

Quelques semaines après l'accident, des mesures préventives et correctives ont été prises par les entreprises ferroviaires CFL et SNCF, par le gestionnaire d'infrastructure ainsi que par l'ACF.

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 deux 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 trois 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 SFAV 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 évènements 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 d'infrastructure CFL sont les suivantes :

- La périodicité des inspections des installations Memor II+ aux SFAv 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<sup>er</sup> 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 ;
- Analyser avec un appareil enregistreur le fonctionnement des différents types d'installations de répétition des signaux au moment du contact « brosse - crocodile ».

En outre, l'ACF 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 (baseline 2 level 1).

A la suite de la publication du rapport d'étape en date du 19 février 2018, aucune mesure supplémentaire de la part du GI et de l'EF (CFL) n'est venue compléter cette liste.

## 3.7 Suivi des recommandations immédiates

### 3.7.1 Mesures prises par l'ACF

L'ACF a pris la décision, conformément à la recommandation LU-CF-2017-002, de limiter l'usage du système Memor II+ au 31 décembre 2019. À partir de cette date l'utilisation du système de sécurité ETCS sera la règle sur le réseau ferré national.

Néanmoins, sur le tronçon du corridor ferroviaire de fret Mer du Nord - Méditerranée, l'utilisation du système Memor II+ est prolongée sous certaines conditions jusqu'au 31 décembre 2020.

Ce corridor s'étend du nord du Royaume-Uni, en passant par la France, les Pays-Bas, la Belgique, le Luxembourg, et la Suisse jusqu'à la mer Méditerranée (Marseille). Actuellement, plus de 30.000 trains utilisent ce corridor par an. Le trafic ferroviaire y augmente d'année en année. Il est donc primordial de garantir aux entreprises ferroviaires l'opérabilité de ce corridor.

Cette décision a été prise par l'ACF en raison de demandes répétées d'entreprises ferroviaires fret utilisant ce corridor et se trouvant dans l'impossibilité d'équiper leur matériel roulant avec le système de sécurité ETCS avant la fin de l'année 2019.

Le tronçon du corridor ferroviaire de fret Mer du Nord - Méditerranée passant par les gares de Pétange, d'Esch-sur-Alzette et de Bettembourg-marchandises conserve le système Memor II+ jusqu'au 31 décembre 2020.

L'ACF impose que les dispositions suivantes soient cumulativement respectées par les entreprises ferroviaires autorisées à déroger à la date limite du 31 décembre 2019:

- mise en place d'une surveillance accrue de toute circulation sous Memor II+ (dépouillement des données Memor II+ de chaque train dans les plus brefs délais) ;
- respect de leurs engagements quant à l'installation et à l'exploitation progressive des locomotives avec le système de sécurité ETCS ;
- éviter les transports en transit réalisés sous surveillance Memor II+ ;
- garantir une parfaite connaissance de ligne des conducteurs circulant sous Memor II+.

De plus, l'ACF impose au GI :

- de mettre en place une surveillance accrue du système au sol Memor II+ (monitoring et entretien) ;
- de désactiver à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020 les équipements liés au système Memor II+ sur l'ensemble du réseau, excepté le tronçon du corridor ferroviaire de fret Mer du Nord - Méditerranée.

L'AET n'émet en conséquence pas de recommandations relatives aux exigences énumérées ci-dessus.

### **3.7.2 Mesures prises par les entreprises ferroviaires**

Les CFL ont informé l'ACF et l'AET en date du 12 février 2019, des mesures prises à la suite de l'émission des recommandations immédiates.

En ce qui concerne la recommandation *LU-CF-2017-001*, le matériel roulant de type TER2N-ng des CFL et de la SNCF, certaines locomotives de CFL Cargo et de SNCF fret n'étaient pas équipés d'un système informant de manière homogène le conducteur de train de la position du SFAv lors du passage. Les CFL, CFL Cargo et la SNCF ont équipé leur matériel d'un tel système respectivement remplacé le matériel par du matériel équipé en ETCS.

Le délai pour la mise en service de l'équipement ETCS du matériel roulant ferroviaire destiné au transport de voyageurs des CFL a été raccourci conformément à la recommandation *LU-CF-2017-002*. Ainsi, à partir du 29 janvier 2018, tous les trains voyageurs des CFL circulent avec le système de sécurité ETCS sur le réseau ferré national.

Le délai pour la mise en service de l'équipement ETCS du matériel roulant ferroviaire des partenaires SNCB et SNCF a également été accéléré.

En ce qui concerne la recommandation *LU-CF-2017-003*, le personnel de conduite des CFL ainsi que celui des partenaires ferroviaires continuent à être sensibilisés à signaler toute irrégularité et toute avarie constatée aux infrastructures ferroviaires conformément à la réglementation. Au cas où un signalement non-conforme par le conducteur est constaté, la procédure y relative lui est rappelée.

Conformément à la recommandation *LU-CF-2017-004*, les CFL ont analysé de façon systématique, les enregistrements de conduite du matériel roulant ayant circulé sous la surveillance du système Memor II+.

Les partenaires ferroviaires SNCB et SNCF continuent à analyser de manière systématique les enregistrements de conduite pour leurs engins circulant encore avec le système Memor II+ sur le réseau ferré luxembourgeois. Le but de ces analyses est de contrôler la bonne transmission des répétitions de signaux vers les engins.

### **3.7.3 Mesures prises par le Gestionnaire d'infrastructure**

Pour la partie infrastructure, l'ACF a délivré en date du 20 juillet 2017 la dernière autorisation de mise en service du sous-système ETCS sol (baseline 2 niveau 1) pour l'ensemble du réseau ferré national.

### 3.8 Recommandations

Il est important de noter que les recommandations trouvent leur origine dans les constats faits lors de l'enquête de sécurité. Elles ne font pas l'objet d'une priorisation.

En complément aux recommandations énumérées au chapitre 3.5 - *Recommandations immédiates*, l'AET adresse à l'ACF, suite aux conclusions de l'enquête de sécurité, les recommandations suivantes :

- **Recommandation LU-CF-2020-001** : Demander aux entreprises ferroviaires d'effectuer des campagnes de sensibilisation ainsi que des contrôles en ce qui concerne l'application de la réglementation sur l'utilisation de portables privés et de service lors de l'exécution des tâches liées à la conduite des trains.

Fort du constat que le conducteur du TER 88807 a consulté l'application de messagerie instantanée « *Whatsapp* » sur son portable lors de sa mission de conduite. Il est important de sensibiliser le personnel de conduite à l'importance d'effectuer toutes les tâches liées à leurs missions avec une concentration et vigilance optimale afin de garantir à tout moment le respect de la signalisation.

- **Recommandation LU-CF-2020-002** : Demander aux entreprises ferroviaires d'effectuer des campagnes d'informations sur le comportement à adopter par le personnel de conduite en relation avec les dangers liés aux conditions météorologiques.

Fort du constat que la position du soleil était tel qu'il a pu fortement éblouir le conducteur du TER 88807 et que des lunettes de soleil n'ont pas été retrouvées sur les lieux de l'accident, il est opportun de sensibiliser le personnel de conduite aux dangers liés à la mauvaise visibilité lors de la conduite des trains afin de pouvoir garantir en permanence le respect de la réglementation ferroviaire.

- **Recommandation LU-CF-2020-003** : Réaliser une étude des risques du système au sol Memor II+ afin d'adapter les procédures de maintenance y relatives.

Fort des constats qu'il n'existe pas de procédures détaillées pour le remplacement de composants au sol du système Memor II+ et que des dysfonctionnements ont eu lieu malgré le fait que les travaux de maintenance ont été effectués conformément aux exigences existantes, il apparaît opportun de revoir les procédures des travaux de maintenance de ces composants.

- **Recommandation LU-CF-2020-004** : Obtenir une étude des risques pour toutes les installations de sécurité présentes sur le réseau ferré luxembourgeois.
- **Recommandation LU-CF-2020-005** : Mettre en place, conformément aux constatations faites lors de ces études, des mesures de sécurité appropriées afin de palier toute faiblesse constatée.

Fort des constats que ni une étude des risques, ni une documentation des étapes de validation de la mise en service initiale du système Memor II+ ne sont disponibles et que sa fiabilité est insuffisante, il apparaît opportun de vérifier la fiabilité de toutes les installations de sécurité présentes sur le réseau ferré luxembourgeois.

- **Recommandation LU-CF-2020-006** : Faire analyser et compléter, le cas échéant, toutes les démarches liées à la culture proactive de notification d'événements liés à la sécurité en sensibilisant le personnel à reporter ce type d'événements.

Pour tous les cas de dysfonctionnements du système Memor II+ où le signal acoustique en cabine a fait défaut, constatés lors des analyses à grande échelle des enregistreurs d'événements, aucune notification de dysfonctionnement n'a été effectuée par le personnel de conduite. Fort du constat qu'une absence de notifications à long terme souligne un niveau de sensibilisation et d'engagement

général insuffisant dans le cadre de la culture proactive de notifications d'évènements liés à la sécurité au sein de l'entreprise ferroviaire, il apparaît opportun de revoir les démarches engagées dans la mise en pratique de cette philosophie de travail au sein des entreprises.

- **Recommandation LU-CF-2020-007** : Equiper le matériel roulant ferroviaire ainsi que des tramways d'un dispositif de caméra frontale doté d'un enregistreur de données.

Fort du constat que d'une manière générale, des caméras installées à l'avant d'un matériel roulant contribuent à élucider la plupart des évènements liés à la sécurité, il apparaît opportun d'équiper à l'avenir le matériel roulant d'une caméra frontale, permettant l'enregistrement et l'exploitation de ces données dans le cadre d'enquêtes de sécurité et judiciaires et d'adapter si nécessaire la législation.

## **4 Annexes**

## 4.1 Annexe I - 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

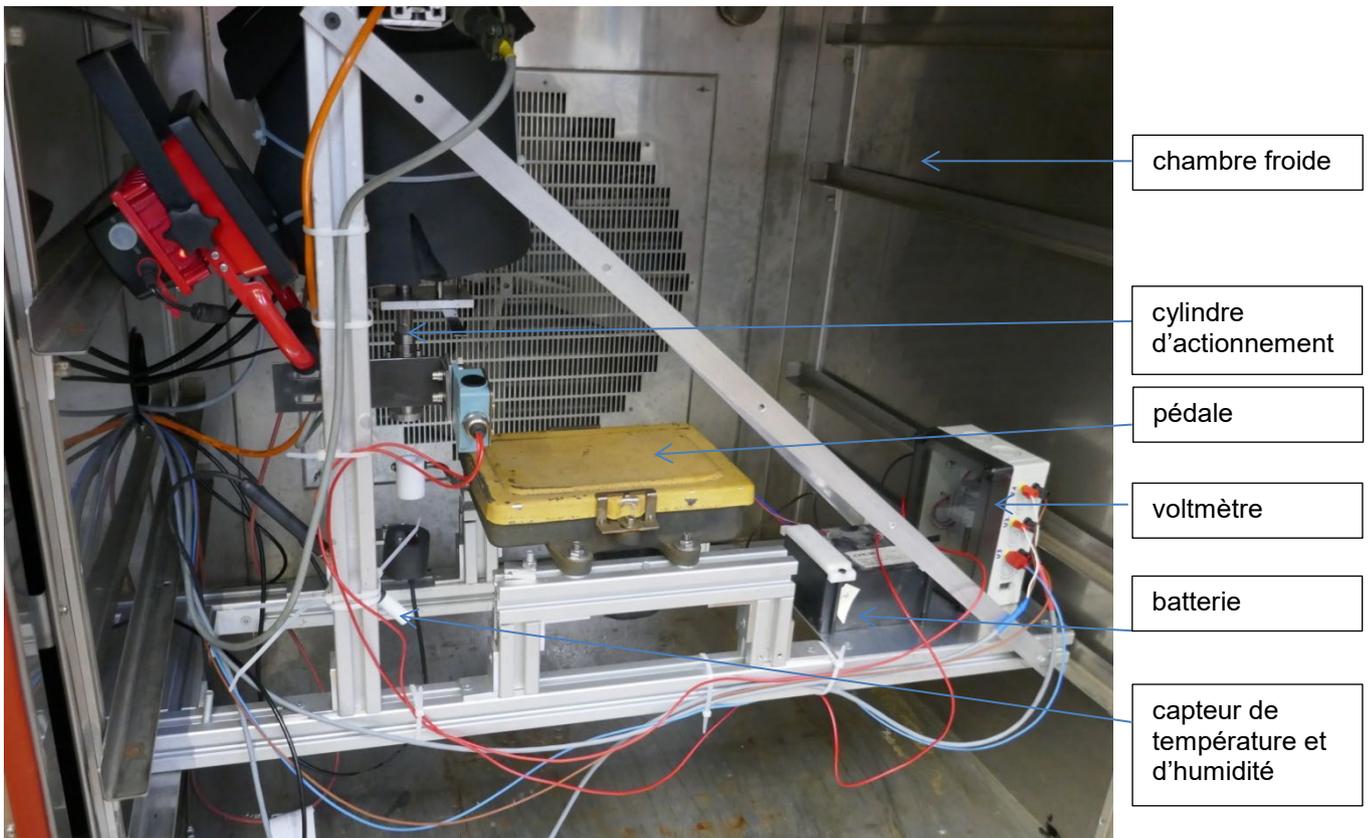
## 4.2 Annexe II - Photos illustrant la visibilité prises le 22 février 2018

Visibilité en amont du SFAv Adm, le 22 février 2018 à 08h43



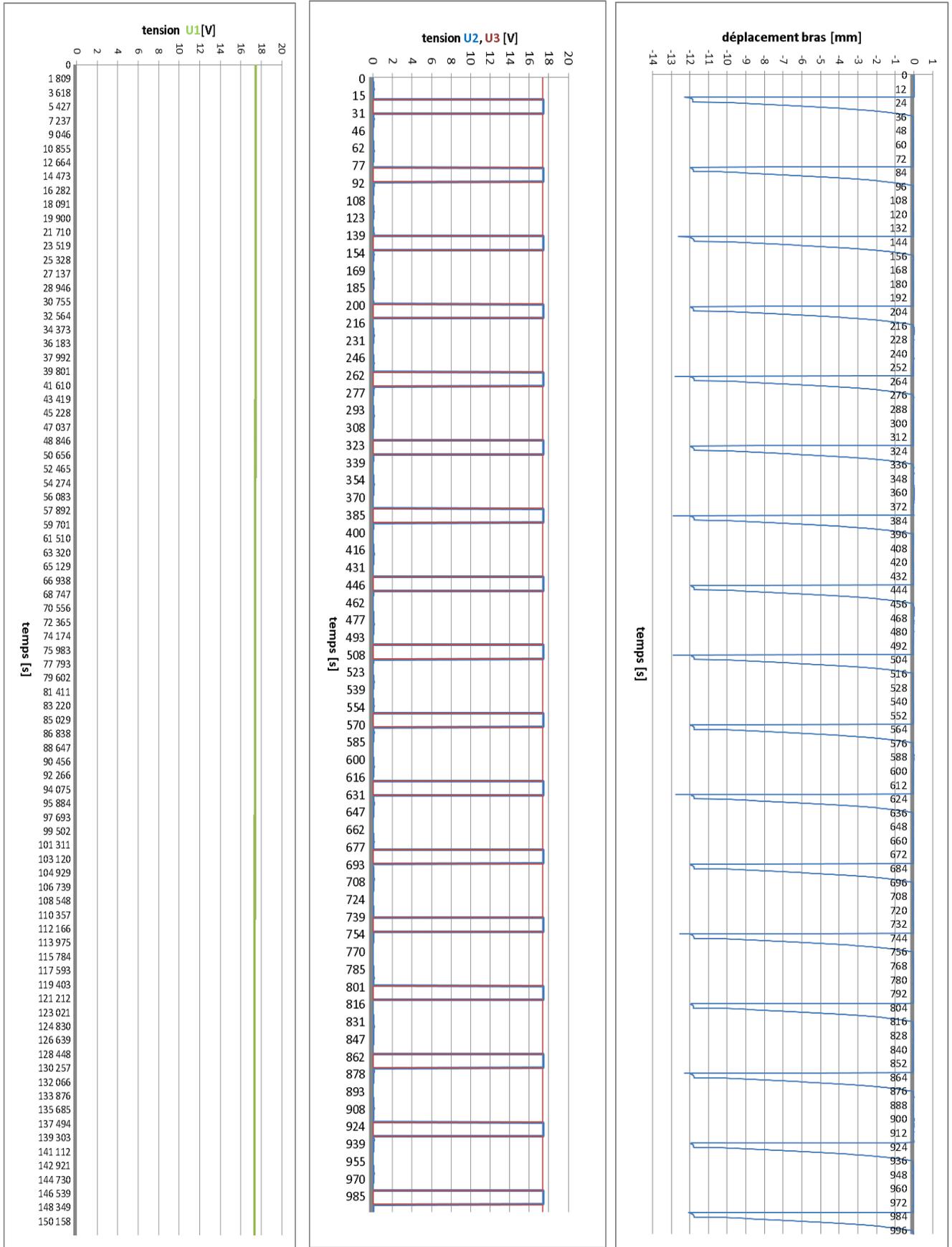


### 4.3 Annexe III - Photos des essais en laboratoire de la pédale de contresens

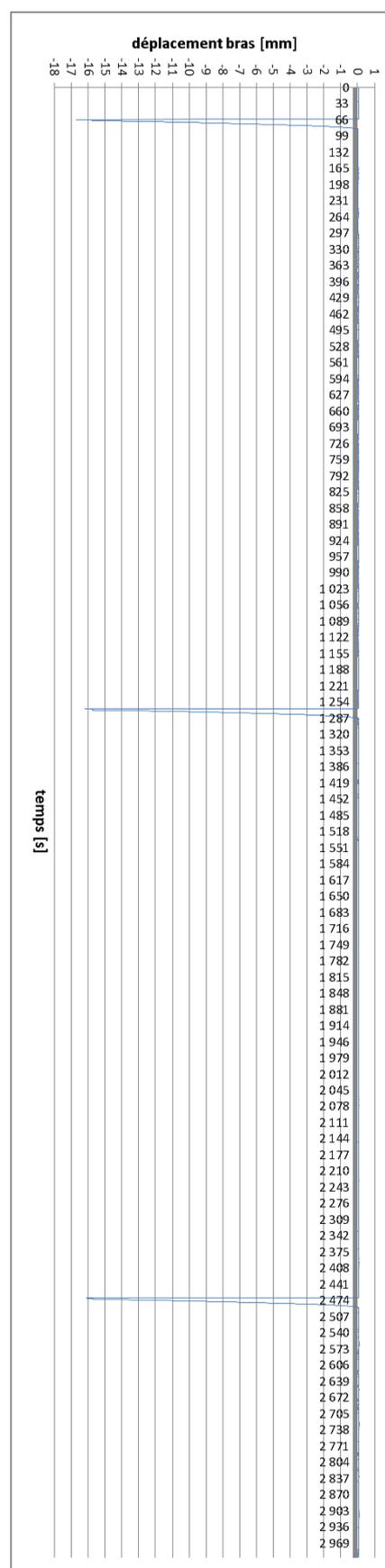
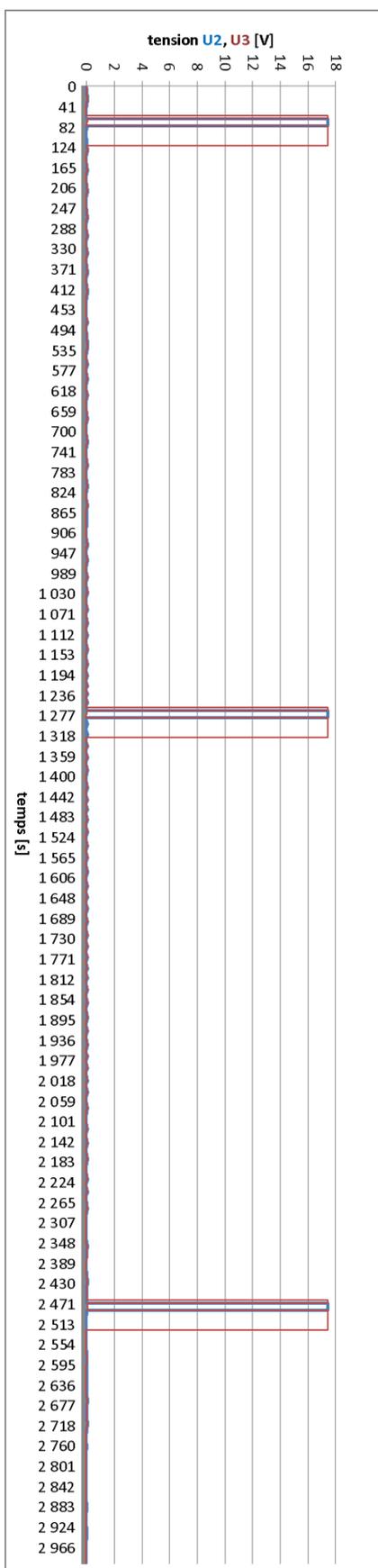
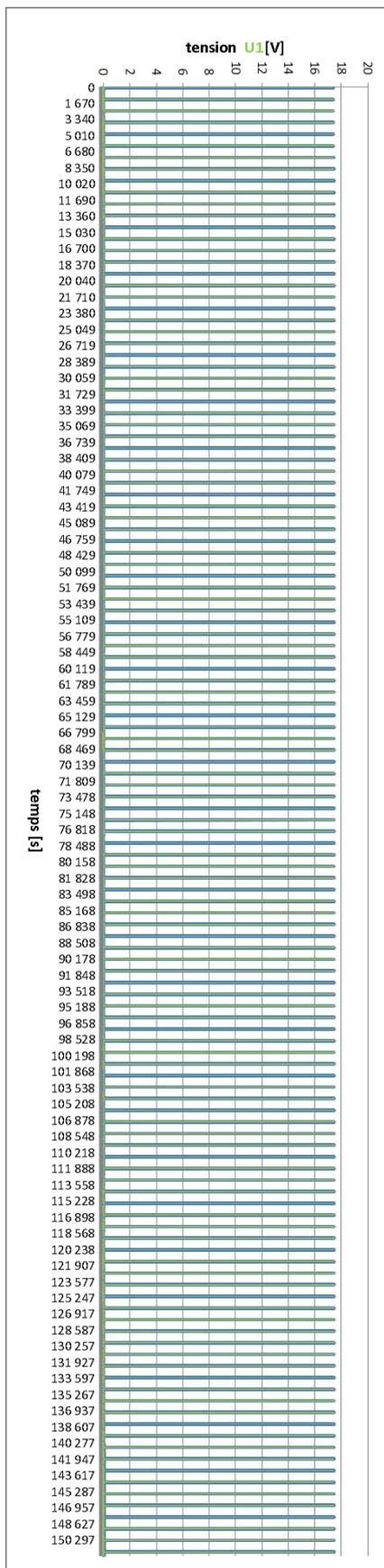


## 4.4 Annexe IV - Extraits des valeurs enregistrées lors des essais de la pédale de contresens

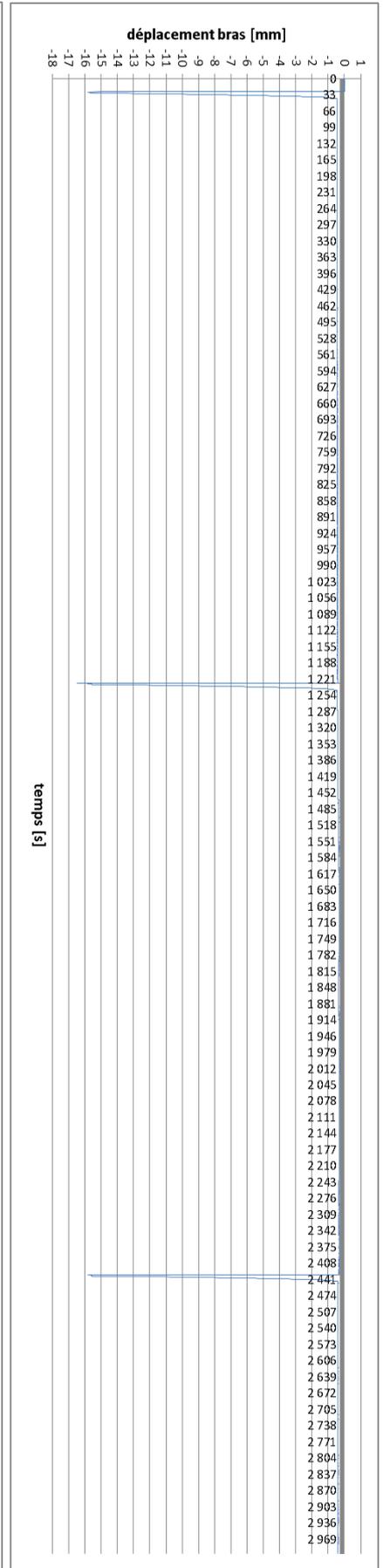
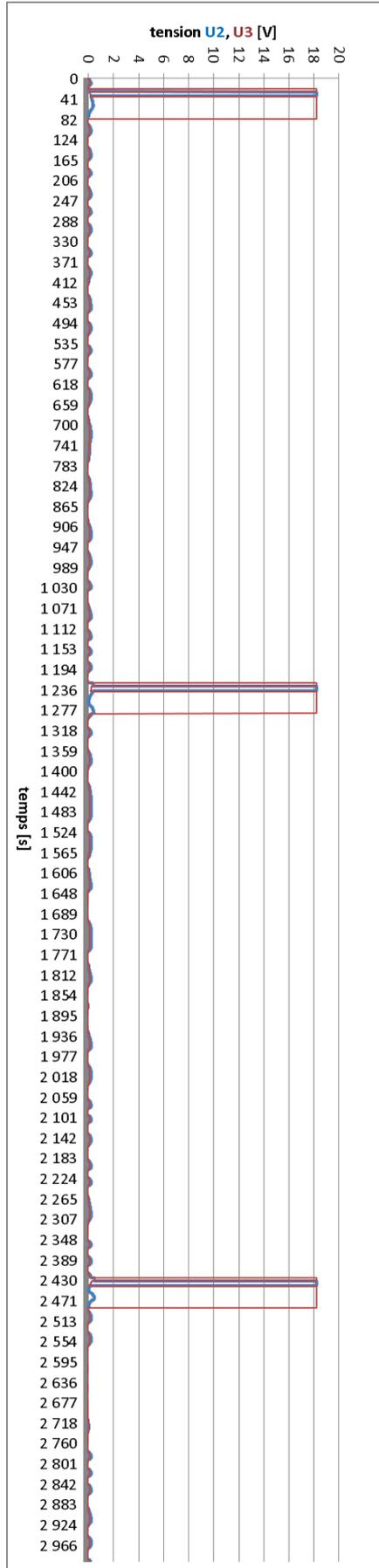
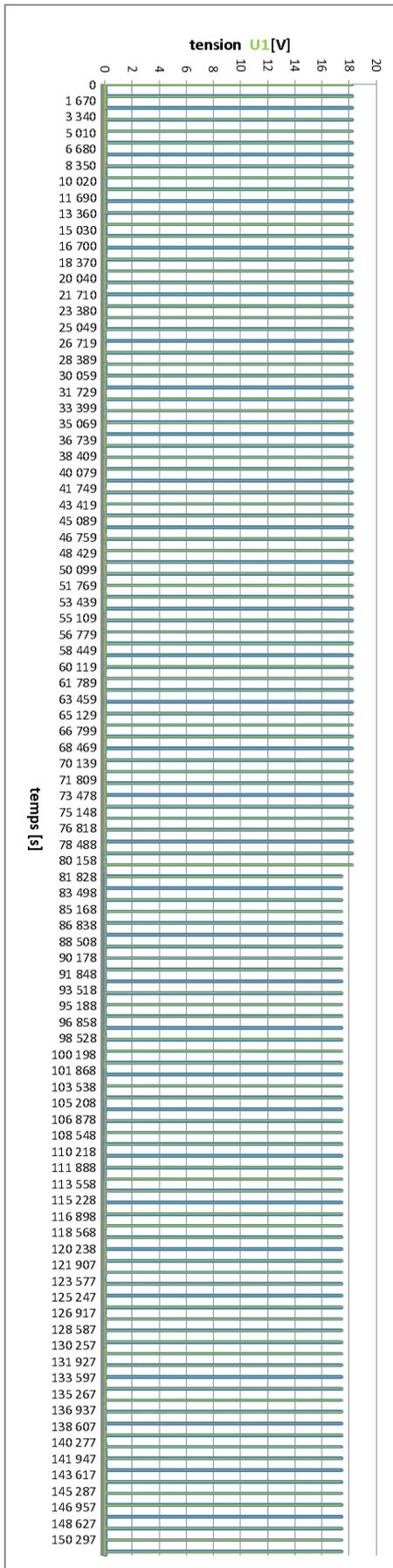
Essai N°1



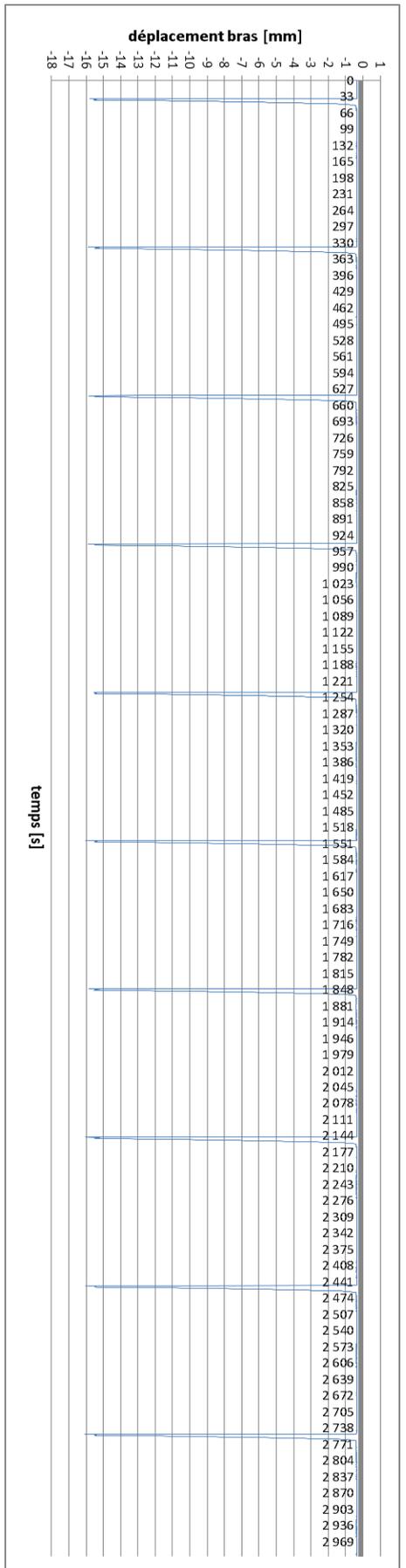
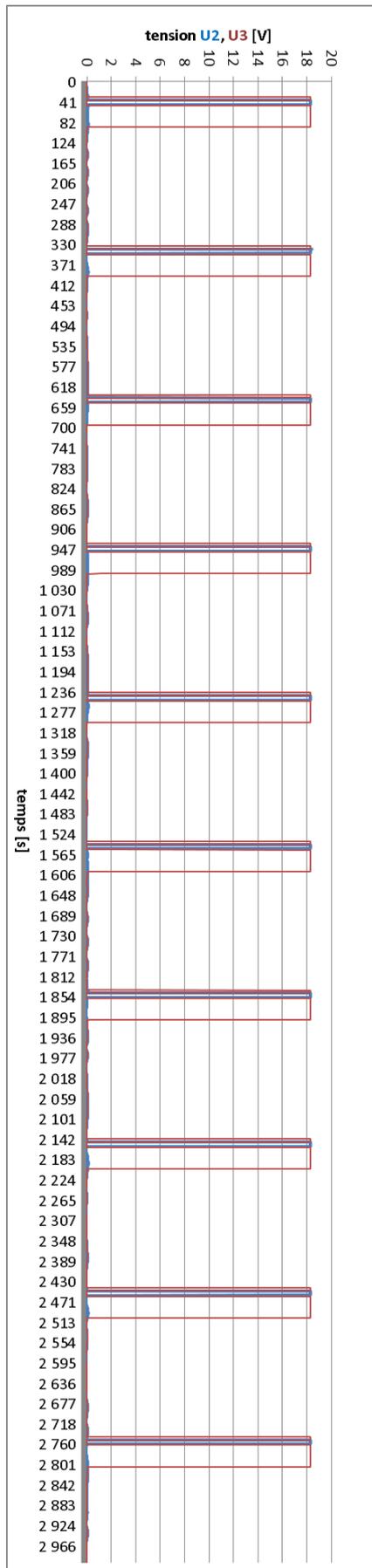
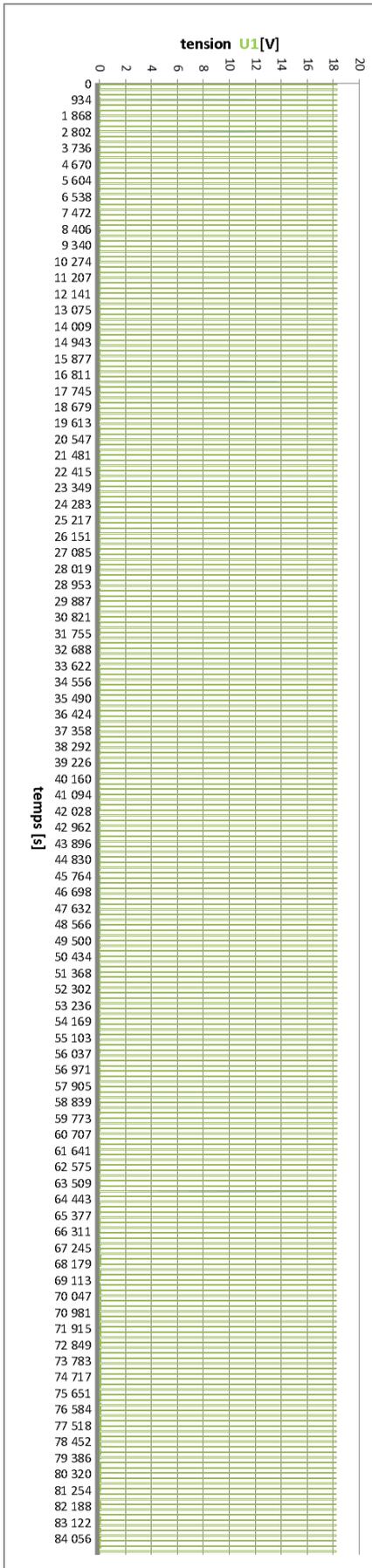
Essai N°2



Essai N°3



Essai N°4



## 4.5 Annexe V - Résumé de la chronologie de l'accident

L'enquête de sécurité a permis de déterminer le déroulement de l'accident comme suit :

heure	distance [km]	TER 88807	TM 49800	vitesse [km/h]
06h55			début service conducteur	
07h59		début service conducteur		
			mise en tête	
08h28m58s	15,04	départ Gare de Luxembourg		
08h31m45s	-16,295		mise en mouvement	
08h42m48s	3,630	arrêt Gare de Bettembourg		
		tous les voyageurs descendent du train		
08h43m22s	3,630	départ Gare de Bettembourg		
		enclenchement itinéraire PDC		
08h43m48s	-1,628		franchissement « crocodile » (SFAv Aam) - position d'annonce à distance de voie libre avec limitation de la vitesse	77
08h43m55s	-1,481		passage frontière	72
08h44m18s	2,619	début éblouissement soleil		
08h44m43s	1,840	début contact visuel SFAv Adm		
08h44m50s	1,590	franchissement SFAv Adm - position d'avertissement (absence impulsion Memor II+)		123
08h45m15s	-0,312		franchissement SFP Am - position de voie libre avec limitation de la vitesse	47
08h45m17s		début contact visuel SFAv Dm		
08h45m22s	0,430	commande de freinage pneumatique		133
08h45m24s	0,330	franchissement « crocodile » (SFP Dm) - position d'arrêt		131
08h45m35s	0	collision		85, 41

## 4.6 Annexe VI - Extrait de la fiche de maintenance de l'installation au sol Memor II+ au SFAv Adm

CFL Maintenance Infrastructure - Unité CST Circonscription S32	Gare de : <b>PDT Bettembourg</b>												Contact fixe de la voie "crocodile" <b>Adm</b>				Indiquer dans les : - Cases blanches une : valeur - Cases masquées un : ok				
	Année : 2016												Type de pédale: Cautort/Forfex				Brigade voie:				
	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	
<b>Eléments à vérifier suivant ISC IF/MT No 29</b>																					
Raccords des câbles de la boîte de distribution vers le crocodile respectivement vers la voie	ok		ok											ok						ok	
Pédale pas endommagée à l'intérieur et à l'extérieur. Fonctionne correctement.	ok		ok											ok						ok	
Hauteur du crocodile (90 ±2mm).	88		88											89						89	
Tension piles sous une charge de 33 ohm ≥ 13 Volt / de 820 ohm ≤ 25 Volt	14,9		15,4											16,6						16,5	
SFAV 1 et 3: Polarité + aux crocodiles.			ok											ok						ok	
SFAV 2: Polarité - aux crocodiles.			ok											ok						ok	
Bon état du câblage et des éléments de la batterie			ok											ok						ok	
Courant à vide du crocodile < 1mA.			ok											ok						ok	
Fonctionnement correct du relais auxiliaire sur tension "Jour" et "Nuit"			ok											ok						ok	
Bon état de l'isolation des vis de fixation et de la fixation du crocodile.			ok											ok						ok	
Cotes de la pédale e = 10±2mm Anc.: h = 12±1mm; Nouv.: h = 16±1mm	10 16		10 16											9 16						9 16	
Pédale: Usure des bras <50% (3,5mm).			ok											ok						ok	
Pédale: Temporisatation ≥10sec.			ok											ok						ok	
Pédale: Vérification du niveau d'huile dans le Dashpot.			ok											ok						ok	
Pédale: Vérification du serrage des boulons de fixation.			ok											ok						ok	
Pédale: Serrage correct des amortisseurs.			ok											ok						ok	
Pédale: Graissage des ressorts de rappel des bras et des vis de fixation des couvercles. Nettoyage de l'intérieur			ok											ok						ok	
Pédale: Propreté et bon état des contacts.			ok											ok						ok	
Pédale: Introduction et étanchéité correcte du câble.			ok											ok						ok	
Pédale type FORFEX:			ok											ok						ok	
Fonctionnement correct du bras inactif.			ok											ok						ok	
Polarité nui si l'assentiment enclenché pour le sens contraire ou si activation de la pédale.			ok											ok						ok	
Nettoyage de tous les composants.			ok											ok						ok	
Relaire la peinture.			ok											ok						ok	
<b>Annuel</b>			ok											ok						ok	
Remarque																					
Date	20-janv		22-mars		26-mai									27-juil						08-nov	
Paraphe	TG		EG		GM									DR						BM	DR



## 4.7 Annexe VII - Extrait de la fiche de maintenance de l'installation au sol Memor II+ au SFP Dm

Gare de :	Année												Indiquer dans les cases blanches cases masquées	valeur				
	2016						2017								sept	oct	nov	déc
	janv	févr	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	déc						
PDT Bettembourg	Type de poste direct: Siemens												P.K.	ok				
	Type de poste direct: CautonForfex																	
CFL	Maintenance infrastructure - Unité CST												Indiquer dans les cases blanches cases masquées	valeur				
	Circonscription S32																	
Eléments à vérifier	Type de poste direct: Siemens												sept	oct	nov	déc		
	Type de poste direct: CautonForfex																	
Entretien mensuel	A) Tension sous une charge de 33 ohm ≥ 13 Volt												ok	ok				
	B) SFP : Polarité aux crocodiles.																	
Entretien mensuel	Hauteur du crocodile A (90 ±2mm).												ok	ok				
	Hauteur du crocodile B (90 ±2mm).																	
Entretien mensuel	Cotes de la pédale e = 10±2mm												ok	ok				
	Anc.: h = 12±1mm; Nouv.: h = 16±1mm																	
Entretien mensuel	1.Pédale/Bras: "10 16" -> "ALT+ENTER"												ok	ok				
	2.Pédale/Bras: "10 16"																	
Entretien mensuel	Raccords des câbles												ok	ok				
	Usure des bras <50% (3,5mm).																	
Entretien mensuel	Pédale: Graissage des ressorts de rappel des bras et des vis de fixation des couvercles. Nettoyage de l'intérieur.												ok	ok				
	Isolation vis de fixation des crocodiles.																	
Entretien mensuel	Temporisation de la pédale ≥10sec.												ok	ok				
	Vérification du serrage des boulons de fixation de la pédale.																	
Entretien bisannuel	Serrage correct des amortisseurs de la pédale.												ok	ok				
	Vérification du niveau d'huile dans le Dashpot de la pédale.																	
Entretien bisannuel	Propreté et bon état des contacts.												ok	ok				
	Introduction et étanchéité correcte du câble dans la pédale.																	
Entretien bisannuel	Pédale type FORFEX: Fonctionnement correct du bras leacel.												ok	ok				
	Courant à vide des crocodiles < 1mA.																	
Entretien bisannuel	Poste Dr S et SpDr S60												ok	ok				
	Batteries et raccordements en ordre.																	
Entretien bisannuel	Lors de l'activation du bras actif												ok	ok				
	→ Tension nul au crocodiles A et B.																	
Entretien bisannuel	Nettoyage de tous les composants.												ok	ok				
	Refaire la peinture.																	
An-nuel	Remarque												sept	05-oct	15-nov	12-déc		
	Date																	
An-nuel	Paraphie												sept	05-oct	15-nov	12-déc		
	Date																	
La vérification ou la suppression d'un dérangement est à effectuer comme suite : A) Mesurer la tension sous charge de 33 ohm et l'inscrire dans la case 1 B) Vérification de la polarité. Si la tension n'est pas dans la norme et/ou lors d'un remplacement d'une pédale, batterie, câble etc., on fait une deuxième mesure à la fin des travaux et on l'inscrit dans la case 2													EG	DR	EG	EG		



## **4.8 Annexe VIII - Extrait de l'instruction de service commune - IF/MT N°29 - chapitre 6 prescriptions relatives à la pose et à l'entretien des crocodiles**

- 25 -

- b) Vérifier la mise en charge du crocodile, poser le boîtier avec CADRAN du vérificateur sur la face active ondulée du crocodile (frotter légèrement les contacts grattants), et l'autre boîtier repéré « RAIL », sur le rail portant les dispositifs raccordés à la caisse à piles.

L'aiguille de l'appareil doit se stabiliser sur la plage verte du cadran.

Si, après avoir remplacé les pédales d'alimentation, l'aiguille ne DEVIE PAS ou si elle demeure sur la plage ROUGE, aviser l'agent d'entretien S.

### **Article 27 - Déplacement du crocodile sur chantier mobile**

Il n'est pas nécessaire de désolidariser le crocodile des entretoises. Pour la dépose, retirer la broche à chaînette du connecteur, supprimer les liaisons électriques et les ranger dans la caisse à piles, réduire la longueur des entretoises, sortir l'ensemble de la voie et le transporter ainsi au nouveau point d'installation.

Après mise en place du crocodile à son nouvel emplacement, vérifier sa hauteur et son nivellement, et procéder à l'établissement des liaisons électriques et à la mise en charge comme indiqué aux articles 25 et 26.

### **Article 28 - Réserve**

### **Article 29 - Réserve**

## **CHAPITRE 6**

### **Prescriptions relatives à la pose et à l'entretien des crocodiles**

#### **Article 30 - Crocodile de répétition des signaux installés à demeure (crocodiles ondulés asymétrique et symétrique 1977).**

##### **30.1. Travaux incombant au service de la voie**

###### **30.1.1. Pose du crocodile**

L'installation du crocodile incombe aux agents d'entretien V excepté la partie électrique.

###### **30.1.2. Entretien à exécuter tous les 2 mois**

- a) Serrage des boulons respectivement tirefonds, fixant :
- le crocodile sur les pattes d'appui
  - les pattes d'appui du crocodile
  - les blochets protecteurs sur leurs supports

- b) Entretien de la voie au droit des crocodiles :
  - serrage des boulons de fixation de rails,
  - bourrage des traverses.
- c) Déplacement éventuel des traverses contiguës aux entretoises (cas d'une installation sur entretoises 1963) pour laisser subsister un jeu de 10 mm entre celles-ci.
- d) Reprise de réglage en hauteur du crocodile après un entretien de la voie au droit de celui-ci ou en serrage de boulons et tirefonds.

Cette dernière opération est effectuée avec la participation d'un agent d'entretien S après entente du Chef de Circonscription S et du Chef de District ST.

### **30.1.3. Entretien à exécuter tous les quatre mois**

- a) Maintien en bon état de la peinture des parties métalliques, à l'exception des surfaces sur lesquelles frotte la brosse. Lors de l'exécution de cette opération, il y a lieu d'éviter de peindre les isolants.
- b) Nettoyage des alentours et enlèvement de corps étrangers (scories, herbes, graisses etc.)
- c) Si l'on constate une usure dissymétrique par rapport à l'axe longitudinal, il convient de régler le crocodile latéralement de la quantité utile pour obtenir une usure symétrique.

### **30.1.4. Mesures spéciales**

- a) Remplacement du crocodile lorsque son état le rend nécessaire à l'exclusion de l'équipement électrique.

Lors du remplacement d'un crocodile arrivé à limite d'usure, remplacement systématique des fourrures isolantes d'entretoise et de crapaud.

- b) En période de grand froid les crocodiles doivent faire l'objet d'une surveillance spéciale, afin de débarrasser leur surface de contact de la glace éventuelle.
- c) Pour tous ces travaux précités, le Chef de District de la voie est responsable de leur bonne exécution.

### **30.2. Travaux incombant aux équipes d'entretien S**

### 30.2.1. Lors du montage du crocodile

- a) Mise en place des caisses à accus.
- b) Mise en place des piles électriques et raccordement des éléments de piles entre eux.
- c) Raccordement électrique des crocodiles à la batterie à piles.
- d) Le cas échéant, installation soit du relais additionnel au mât du SFAV pour la signalisation lumineuse, soit du commutateur pour la signalisation mécanique et câblage de l'ensemble de l'installation.
- e) Fixation de la pédale Silec neutralisant le crocodile lorsqu'il est franchi à contre-sens et raccordement électrique de la pédale dans le circuit électrique d'alimentation du crocodile.
- f) Contrôle de la hauteur.
- g) Contrôle du jeu de 10 mm entre les entretoises et les traverses.

### 30.2.2. Examen de l'appareillage, à effectuer tous les deux mois

- a) Vérification des liaisons entre:
  - boîte d'extrémité et crocodile
  - boîte d'extrémité et voie.
- b) Contrôle du jeu de 10 mm entre les entretoises et les traverses.
- c) Examen visuel de la pédale.

### 30.2.3. Opérations à effectuer tous les 6 mois

- a) Contrôles des limites d'usure  
Le crocodile peut être maintenu en voie tant que  
**pour les crocodiles ondulés asymétrique, d'essai des dépôts**
  - les points situés au droit des attaches sont à une hauteur de  $90 \pm 2$  mm (partie située au droit des boucliers),
  - le point le plus bas de la lame la plus usée est à une hauteur d'au moins 82 mm,
  - le point le plus haut d'une partie quelconque de crocodile ne dépasse en aucun cas 92 mm.**pour le crocodile ondulé symétrique 1977**
  - l'axe transversal peut être maintenu à  $90 \pm 2$  mm,
  - la hauteur des lames est supérieure à 60 mm,
  - le point le plus haut d'une partie quelconque du crocodile ne dépasse en aucun cas 92 mm.
- b) Vérification de la tension

- c) Vérification de la polarité en fonction des indications présentées par le signal.
- d) Bon état du câblage et de l'alimentation
- e) Bon état de la fixation.
- f) Vérification de l'isolement.

L'isolement est mesuré en contrôlant le débit de la batterie dans le circuit ouvert. L'intensité du courant doit être inférieure à 1 m A. Si  $I > 1$  m A alors chercher le défaut d'isolement. Faire remplacer éventuellement (par un agent d'entretien Voie) les plaques isolantes.

- g) Contrôler le cas échéant le fonctionnement du relais auxiliaire sur tension « Jour » et « Nuit »
- h) Contrôler le cas échéant le bon état des contacts à rouleau.
  - i) A vérifier la pédale
    - les cotes  $h = 12 \pm 1$  e  $\pm 2$
    - la temporisation 5 à 9 s
    - le niveau d'huile
    - le serrage des boulons, de l'amortisseur, des bornes
    - l'état des contacts
    - l'usure du bras (3,5 mm)
    - graisser le ressort de rappel, les vis du couvercle et lubrifier les paliers des bras.
- k) Mesurer la tension de la batterie

#### **30.2.4. Opérations à effectuer tous les ans**

- a) Nettoyage, mise en peinture etc.
- b) vérification fonctionnelle y compris les conditions d'annulation par pédale le contre-sens.

#### **30.2.5. Mesures spéciales**

L'entretien courant à effectuer par les agents S doit maintenir constamment l'installation en état d'assurer dans de bonnes conditions le service pour lequel elle a été réalisée.

Au cours de ses visites d'entretien, l'agent S doit s'assurer que les opérations à effectuer par le personnel du service Voie sont exécutées.

Lorsque l'examen de l'installation donne lieu à des observations particulières il en rend compte à son Chef de District ST lequel donne la suite qu'il convient aux informations qui lui sont communiquées.

## 4.9 Annexe IX - Fiche Merkblatt - Instandhaltungsfristen für Elektrische Zugbeeinflussungsanlagen (I.S.C. IF/MT N° 29)

DS 892 03 (DB)

noch Anhang 7  
Anlage CFL 1

Merkblatt – Instandhaltungsfristen für Elektrische Zugbeeinflussungsanlagen (CROCODILES)  
(I.S.C. IF/MT Nr.29)

1 Lfd. Nr.	2 Tätigkeiten	4 Instandhaltungsfristen (Monate)				5 Bez. L	6 Abnahme-/ Umabauprüfu
		IB Sig			DS 892 01 Absatz :		
		28	29	30			
	<b>1 Wartung</b>						
1	Reinigung aller zur Anlage gehörenden Einzelteilen.	12	-	12			
2	Anstrich erneuern.	12	-	24			
3	Am Schienenkontakt Lager des Betätigungsarmes ölen, Blattfeder und Deckelschrauben schmieren	6	-	12			
	<b>2 Abnahme-/Umabauprüfung, Inspektion</b>						
1	Sind die Kabelverbindungen zwischen Kabelverteiler –Gleiskontakt (crocodile) und Schiene in Ordnung?	2	-	4	X	X	
2	Ist der Schienenkontakt (pédale) unbeschädigt und funktionsfähig?	2	-	4	X	X	
3	Beträgt der Seitliche Abstand zwischen Gleiskontakttrageeisen (entretoise) und Gleisschwelle 10 mm? (nur bei Befestigung an der Schiene) → ggf. Nachstellung veranlassen	2	-	4	X	X	
4	Ist die Höheneinstellung des Gleiskontaktes in Ordnung (90 ±2mm)? → ggf. Nachstellung veranlassen	6	-	12	X	X	
5	Messen der Batteriespannung bei einer Belastung von 33 Ohm (Spannung am Gleiskontakt ≥ 13 Volt) und bei einer Belastung von 820 Ohm (Spannung am Gleiskontakt ≤ 25 Volt)	6	-	12	X	X	
6	Polaritätsprüfung bei entsprechender Signalstellung.	6	-	12	X	X	
7	Zustand der Verbindungskabel überprüfen.	6	-	12	X	X	
8	Sind an den Befestigungsschrauben des Gleiskontaktes die Isolierzwischenlagen noch in Ordnung?	6	-	12	X	X	
9	Überwachungsrelais Halt / Fahrt auf sicheren Anzug kontrollieren (bei Nachtschaltung)	6	-	12	X	X	
10	Wirksamkeit des Gleiskontaktes bei Falschfahrt prüfen.	12	-	12	X	X	
11	Am Schienenkontakt überprüfen: - Montagemasse, - Verzögerung und Abnutzung des Betätigungsarmes - Befestigungsschrauben, Klemmschrauben - Schlagdämpfungsvorrichtung (amortisseur) - Zustand des Kontakte - Ölstand	6	-	12	X	X	
12	Funktionsprüfung bei Halt- und Fahrt-Stellung sowie bei Falschfahrt.	12	-	12	X	X	

Edition 03 du 20/07/2011

Seite 1 / 1