

**RAPPORT
D'ENQUÊTE TECHNIQUE
sur l'électrisation d'un agent
en cabine de conduite
lors d'une circulation de train d'essai
survenue le 22 juillet 2024
à Zillisheim (68)**

juin 2025

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-1 à 1622-2 et R. 1621-1 à 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

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

Glossaire

- **A/R** : aller – retour
- **AUTE** : autorisation temporaire pour circulation d'essai
- **DAUTE** : demande d'autorisation temporaire d'essais
- **DBST** : Deutsch Bahn SystemTechnik
- **DQSC** : dirigeant qualifié du service de conduite
- **EPF** : Europorte France
- **EPSF** : Établissement public de sécurité ferroviaire
- **ERA** : European union Agency for Railways, en français Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer
- **ETCS** : European Train Control System, en français Système européen de contrôle de l'espacement des trains
- **PK** : point kilométrique
- **SAM** : spécification d'autorisation du matériel
- **SNCF** : Société nationale des chemins de fer français
- **TRAXX MS 3** : locomotive d'Alstom
- **VACMA** : veille automatique à contrôle de maintien d'appui

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'électrification d'un agent en cabine de conduite lors d'une circulation de train d'essai, survenue le 22 juillet 2024 à Zillisheim (Haut-Rhin)

N° ISRN : EQ-BEATT—25-6-FR
Affaire n° BEATT-2024-07

Proposition de mots-clés : essais, locomotive, électrification, gestion des modifications

1 - Synthèse

Le 22 juillet 2024, un accident d'électrisation d'un agent se produit en cabine de conduite entre Mulhouse et Belfort au cours d'une campagne d'essais visant à vérifier la compatibilité de la nouvelle locomotive TRAXX MS 3 d'Alstom avec le réseau français.

Alors que le train d'essai circule à la vitesse de 100 km/h à hauteur de Zillisheim avec huit personnes à son bord, un câble Ethernet mal fixé se détache à l'extérieur et touche une pièce sous haute-tension en toiture. Il provoque alors un arc électrique en cabine causant des blessures graves à un membre de l'équipage. Les dégâts matériels sont mineurs et ne concernent que superficiellement quelques surfaces de la locomotive en toiture et à l'intérieur de la cabine.

Depuis 2022, la campagne d'essais a fait l'objet d'une préparation stricte à travers une organisation structurée, encadrée par la réglementation européenne et française. L'enquête a permis de mettre en évidence les facteurs systémiques ayant conduit à l'accident, tels que des incidents techniques sur le matériel roulant, des problèmes de gestion des garages et des contraintes opérationnelles. Ces difficultés, pour nombre d'entre elles surgissant tardivement, ont poussé l'équipe d'essai à adopter un mode de fonctionnement hyper-adaptatif afin de pouvoir poursuivre les essais. La coopération entre les différents acteurs a permis de trouver des solutions, mais a également conduit à des options improvisées et à des décisions prises dans l'urgence, augmentant les risques et amenant à des conditions d'essai non autorisées sortant du cadre pré-établi. Le câble Ethernet qui a causé les dommages a été hâtivement installé dans ce contexte, sans être vérifié.

L'analyse met globalement en lumière des lacunes dans la gestion des modifications dans le déroulement des essais. Elle met en avant l'importance de maintenir des standards de sécurité et de préparation, même face à des imprévus. L'analyse a par ailleurs révélé que la matière inflammable du vêtement du membre de l'équipage blessé a contribué à une aggravation des blessures.

Suite à l'accident, les essais ont été arrêtés. Les intervenants ont mis en place des mesures correctives fortes pour en éviter le renouvellement. Ces mesures incluent des mises à jour des procédures de sécurité dans les domaines de la modification des conditions d'essai, de la préparation du train d'essai et de la vérification des modes exceptionnels d'utilisation des engins. S'y ajoute une adaptation des équipements de protection individuelle à bord. Ces mesures ont permis une reprise normale des essais.

En complément des mesures, le BEA-TT émet deux recommandations et deux invitations pour prévenir ce type d'accident, dans les domaines suivants :

- la sécurisation des sites de garage pour de meilleures conditions de préparation des circulations d'essai ;
- le suivi des aléas techniques sur le matériel roulant en cours de campagne pour un meilleur accompagnement de l'équipe d'essai ;
- la prise en compte du retour d'expérience de l'accident par les demandeurs d'autorisation d'essai ;
- la formalisation du retour d'expérience de l'accident à destination de l'ensemble des acteurs ferroviaires concernés pour l'amélioration de la sécurité des essais sur le réseau ferré français dans le futur.

Summary (English version)

Les chapitres en anglais figurant dans ce rapport sont issus en partie d'une traduction automatique.

The English chapters in this report are partly from machine translation.

On July 22, 2024, an employee was electrified in the driver's cab between Mulhouse and Belfort during a test campaign to verify the compatibility of Alstom's new TRAXX MS 3 locomotive with the French network.

While the test train was travelling at 100 km/h near Zillisheim with eight people on board, an Ethernet cable came loose outside and touched a high-voltage part on the roof. It then caused an electric arc in the cab, seriously injuring a crew member. The material damage was minor, affecting only a few surfaces on the locomotive roof and inside the cab.

Since 2022, the test campaign has been the subject of rigorous preparation through a structured organisation, supervised by European and French regulations. The investigation has highlighted the systemic factors that led to the accident, such as technical incidents on the rolling stock, garage management problems and operational constraints. These difficulties, many of which arose late, have forced the test team to adopt a hyper-adaptive operating mode in order to carry on with the tests. Cooperation between the various stakeholders has enabled solutions to be found, but also it has led to improvised options and decisions taken in a hurry, increasing the risks and leading to unauthorised test conditions outside the pre-established framework. The Ethernet cable that caused the damage was hastily installed in this context without being checked.

The analysis highlights shortcomings in the management of changes during the testing. It highlights the importance of maintaining safety and preparation standards, even when facing unforeseen circumstances. The analysis also reveals that the flammable material from the injured crew member's clothing contributed to aggravate the injuries.

Following the accident, testing has been stopped. Strong corrective measures have been put in place to prevent any recurrence. These measures include updating safety procedures when modifying test conditions, preparing the test train and checking the exceptional modes of use of the locomotives. In addition, the onboard personal protective equipment has been adapted. These measures enabled the tests to resume normally.

In addition to these measures, the BEA-TT is issuing two recommendations and two invitations to prevent this type of accident, in the following fields :

- making garage sites safer to improve conditions for preparing test runs ;
- monitoring technical hazards affecting rolling stock during the campaign to better support the test team ;
- taking into account feedback from this accident by test authorisation applicants ;
- formalising feedback from the accident for all the railway actors involved, to improve the safety of the tests on the French rail network in the future.

SOMMAIRE

1 - SYNTHÈSE	3
SUMMARY (ENGLISH VERSION)	4
2 - L'ENQUÊTE ET SON CONTEXTE	7
2.1 - Les circonstances de l'accident.....	7
2.2 - Le bilan de l'accident.....	8
2.3 - L'engagement et le déroulement de l'enquête.....	9
3 - LA DESCRIPTION DE L'ACCIDENT SURVENU	10
3.1 - Le contexte de l'accident.....	10
3.1.1 - La locomotive TRAXX MS 3.....	10
3.1.2 - Le processus d'autorisation et le convoi des essais préalables.....	11
3.1.3 - Les acteurs impliqués dans la réalisation des essais.....	13
3.1.4 - La consistance de la campagne d'essais commencée en juillet 2024.....	16
3.1.5 - La configuration de l'essai en unité simple ou en unité double.....	17
3.1.6 - Le parcours de la marche d'essai de l'accident.....	19
3.1.7 - La météorologie du 22 juillet 2024.....	19
3.2 - La description factuelle des événements.....	20
3.2.1 - Les résumés des témoignages.....	20
3.2.2 - La synthèse des configurations du train pour la journée.....	27
3.2.3 - La reconstitution du branchement du câble Ethernet.....	28
3.2.4 - Le dépouillement de l'enregistrement des paramètres de conduite.....	29
3.2.5 - Le dépouillement des enregistrements vidéos en cabine et en toiture.....	30
3.2.6 - Les dommages matériels causés par l'amorçage électrique.....	32
3.2.7 - Les incidents qui ont émaillé la campagne d'essai avant l'accident.....	35
3.3 - Le déroulement reconstitué des faits.....	39
4 - L'ANALYSE DE L'ACCIDENT	42
4.1 - Le cadre réglé d'organisation des essais.....	42
4.2 - Les multiples aléas mettant à mal l'organisation prévue.....	43
4.3 - La stratégie d'action de l'équipe en réponse aux aléas.....	44
4.4 - La modification des conditions d'autorisation de l'essai.....	45
4.5 - Les mesures prises postérieurement à l'accident.....	47
5 - LES CONCLUSIONS	50
5.1 - L'arbre des causes.....	50
5.2 - Les causes de l'accident.....	51
CONCLUSIONS (ENGLISH VERSION)	52

6 - LES RECOMMANDATIONS EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ.....	53
6.1 - La conduite à tenir en cas de modification des conditions autorisées des essais.....	53
6.2 - La vérification avant essai des modes inhabituels d'utilisation des engins.....	54
6.3 - La sécurisation des sites de garage.....	54
6.4 - L'attention portée aux aléas techniques en cours de campagne.....	55
6.5 - L'adaptation de l'équipement de protection individuelle à bord.....	55
6.6 - La prise en compte du retour d'expérience de cet accident pour les futurs essais.....	56
RECOMMANDATIONS (ENGLISH VERSION).....	57
ANNEXES.....	61
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	62
Annexe 2 : Schéma de signalisation de la ligne.....	63
Annexe 3 : Relevé de l'enregistrement des paramètres de conduite.....	64
RÈGLEMENT GÉNÉRAL DE PROTECTION DES DONNÉES.....	65

2 - L'enquête et son contexte

2.1 - Les circonstances de l'accident

L'accident se produit le lundi 22 juillet 2024 à Zillisheim, lors d'une circulation du train d'essai n° 351 923. Le train, exploité par l'entreprise ferroviaire Europorte France, réalise des essais pour l'homologation de la nouvelle locomotive d'Alstom TRAXX MS 3 sur le réseau ferré français, essais pilotés par DB SystemTechnik.

Le train effectue alors une marche d'essai de Mulhouse-Nord à Montbéliard. Il part à 15 h 20. Il est composé de deux engins TRAXX MS 3, l'un en moteur, l'autre en véhicule. Le conducteur et un cadre sont présents en cabine de conduite avant de la motrice.



Figure 1 : le train d'essai au passage de la gare de Montreux-Vieux entre Belfort et Mulhouse avant l'accident

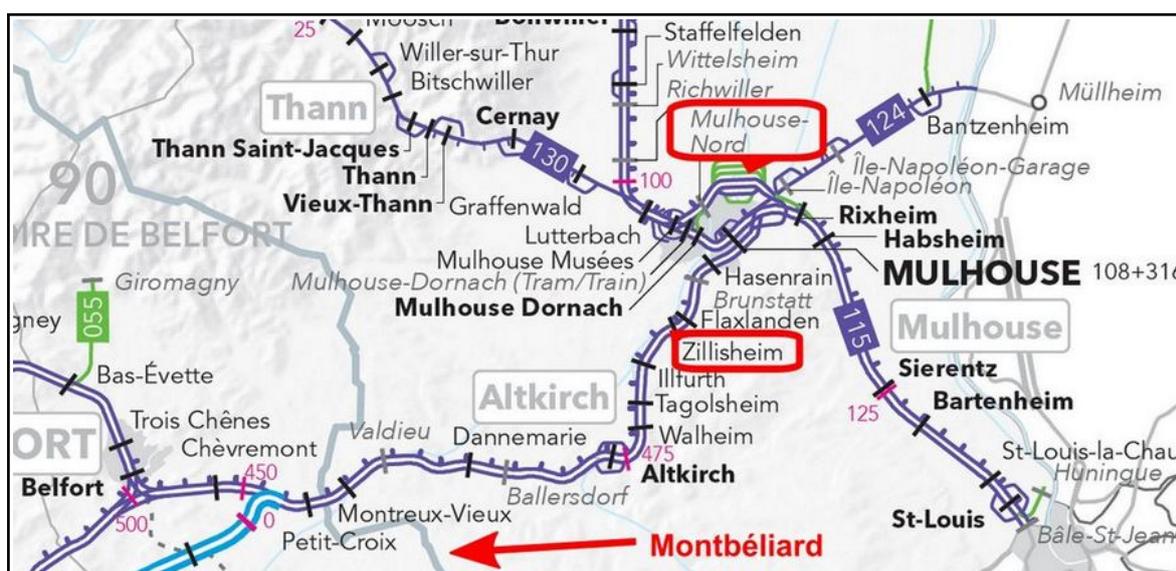


Figure 2 : plan de situation du lieu de l'accident

Au passage de la gare de Zillisheim et alors que le train circule à la vitesse de 98 km/h, le conducteur du train perçoit un grésillement. Il commande le freinage. Une explosion se produit immédiatement après. Le cadre présent à ses côtés dans la cabine de conduite est électrisé et est projeté. Le conducteur freine d'urgence et abaisse le pantographe tandis que l'arrêt du train est obtenu, 30 secondes après.

Le conducteur du train, et le chef d'essai qui était en cabine arrière, portent les premiers secours au blessé. Les pompiers alertés viennent prendre en charge le blessé électrisé, 40 minutes après l'accident.

L'hypothèse privilégiée lors des premières constatations est qu'un câble Ethernet, installé entre la cabine et l'extérieur, aurait été mal fixé, se serait détaché à l'extérieur lors du trajet, et serait librement entré en contact avec des pièces sous haute tension en toiture. L'agent électrisé aurait repoussé avec son pied l'autre extrémité du câble qui grésillait dans la cabine.



Figure 3 : le train d'essai composé de deux engins TRAXX MS3 de retour au garage après l'accident

2.2 - Le bilan de l'accident

L'accident a électrisé gravement le cadre présent en cabine de conduite. Ce dernier a été transporté à l'hôpital. Il a subi des brûlures graves de par les effets d'un arc électrique, et parce que sa chaussure et son tee-shirt à même la peau se sont enflammés.

Aucun autre agent présent dans la locomotive n'a été blessé, à savoir ni le conducteur situé lui aussi en cabine avant, ni les six autres personnes en charge de la supervision de l'essai et des opérations de mesure (dont le chef d'essai) qui étaient situées en cabine arrière de la locomotive.

Sur le plan matériel, l'accident électrique a, sur la locomotive, provoqué plusieurs traces de brûlure sur des revêtements et des couches de peinture de finition, en cabine de conduite et à l'extérieur (notamment en toiture et sur un pantographe). Ces dommages limités et superficiels ont pu être nettoyés et réparés sans difficulté.

L'accident n'a causé aucun dommage matériel à l'infrastructure, notamment à la caténaire.

Suite à l'accident, l'autorisation de conduire les essais, délivrée par l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF), a été suspendue. Une nouvelle autorisation a été délivrée le 22 novembre 2024, pour la reprise des essais, après analyse de l'accident et mise en place de mesures préventives.

2.3 - L'engagement et le déroulement de l'enquête

Le BEA-TT a reçu l'information de la survenue de l'évènement le jour même, deux heures après l'accident. Si les premières informations recueillies ont permis de comprendre la cause immédiate de l'accident, elles n'ont pas permis de cerner les causes sous-jacentes et notamment les facteurs organisationnels et humains qui ont pu contribuer à l'évènement. Compte tenu des circonstances particulières de cet accident et de ses conséquences sur la sécurité des essais ferroviaires, le directeur du BEA-TT a décidé d'ouvrir une enquête technique, le 19 septembre 2024 (voir décision en Annexe 1).

L'enquête est conduite en application de l'article L 1621-2, alinéa 1, du Code des transports qui prescrit que tout accident ou incident de transport terrestre peut faire l'objet d'une enquête technique. L'enquête n'entre pas dans le cadre des enquêtes obligatoires mentionnées à l'alinéa 2 du même article, l'évènement ne présentant pas le caractère d'un accident « grave » (décès, ou au moins cinq blessés graves, ou des dommages conséquents).

L'enquête technique diligentée ne vise pas à déterminer des responsabilités. Elle vise à collecter et analyser les informations utiles pour expliquer les causes exactes et les facteurs contributifs à la survenue de l'accident, en vue de formuler des recommandations de sécurité visant à réduire le risque de répétition d'accident analogue.

Pour leur enquête, les enquêteurs techniques du BEA-TT ont rencontré en septembre et octobre 2024 l'ensemble des opérateurs et acteurs du système ferroviaire ayant eu un rôle dans la réalisation ou le contrôle des opérations d'essai. Ils ont recueilli les témoignages verbaux ou déclarations écrites des opérateurs impliqués le jour de l'accident, témoins directs ou indirects. Ils se sont rendus sur le train d'essai et ont assisté à des essais lorsque ceux-ci ont pu reprendre, et ceci à deux reprises, en novembre 2024, puis en janvier 2025. Les enquêteurs se sont fait communiquer par les intervenants tous les documents utiles à leur enquête.

L'accident n'a pas donné lieu à ouverture d'une enquête de police (enquête de flagrance ou enquête préliminaire). Les enquêteurs techniques ne se sont donc pas rapprochés des services judiciaires territorialement compétents.

À la suite du recueil des faits et de leur exploitation, les enquêteurs techniques ont partagé leurs analyses avec les acteurs du système ferroviaire impliqués dans l'accident, afin de conduire l'enquête de manière aussi ouverte que possible, de mettre les résultats en commun et de permettre à toutes les parties d'être entendues. Le projet de rapport final, avant d'être rendu public, a fait l'objet d'une consultation en date du 23 avril 2025 afin de recueillir et prendre en compte les observations des autorités et entreprises concernées.

3 - La description de l'accident survenu

3.1 - Le contexte de l'accident

3.1.1 - La locomotive TRAXX MS 3

La locomotive sur laquelle s'est produit l'accident est de type TRAXX MS 3. Il s'agit d'une locomotive de la gamme TRAXX Universal, fabriquée par le constructeur international de matériel roulant Alstom, qui sont des locomotives modernes à quatre essieux destinées au marché européen. Construites depuis 1998, ces locomotives sont électriques et couvrent quatre types de tension caténaire (15 kV et 25 kV alternatif ; 1 500 V et 3 000 V continu). La gamme a été développée pour une exploitation transfrontalière et est pionnière, selon le constructeur, dans la fonctionnalité du « dernier kilomètre ». Elle franchit effectivement les zones non électrifiées telles que les voies d'évitement ou de garage non pourvues en alimentation, évitant l'usage d'une locomotive de manœuvre. La gamme se décline en des variantes pour train de marchandises et trains de voyageurs, avec des vitesses allant jusqu'à 200 km/h. Plus de 2 700 locomotives TRAXX Universal ont déjà été vendues en Europe.



Figure 4 : la locomotive TRAXX MS 3 n° 188 003 d'Alstom

La série de locomotive TRAXX MS 3 est la plus récente de la gamme. « MS » signifie « Multi – Système » en écho à la grande variété des réseaux sur lesquels elle peut rouler. Ce type de locomotive est déjà autorisé à rouler en Allemagne, Autriche, Pologne, République tchèque, Slovaquie et au Luxembourg. Une autorisation de type de cette série pour la France est visée pour 2026. C'est la préparation de cette homologation qui justifiait les essais en cours le 22 juillet 2024.

Deux locomotives sont utilisées pour les essais dont les numéros de série sont 188 002 et 188 003. Elles présentent les caractéristiques données dans le tableau suivant. La locomotive sur laquelle a eu lieu l'accident est la 188 002. C'est elle qui est équipée de l'instrumentation pour la mesure des résultats des essais.

longueur	18,90 m
masse	86 tonnes
vitesse maximale	160 km/h
nombre d'essieux	4
masse	entre 86 et 89 t
puissance nominale	6 MW
diamètre de roue	1,25 m

La locomotive a deux cabines de conduite (une pour chaque sens) numérotées 1 et 2. Elle est dotée de quatre pantographes, numérotés de 1 à 4, dont chacun correspond à un type d'alimentation. Une « ligne de toiture » (barre conductrice) relie électriquement en permanence les quatre pantographes. Le jour de l'accident, le pantographe utilisé était le pantographe n° 1 (15 - 25 kV / France), situé le plus à l'extrémité de la locomotive au-dessus de la cabine 1 (pantographe levé sur la figure 5).



Figure 5 : configuration des pantographes de la locomotive TRAXX 188 003

3.1.2 - Le processus d'autorisation et le convoi des essais préalables

Alstom a engagé, en 2022, une démarche pour étendre l'autorisation de la locomotive TRAXX MS 3 au réseau ferré français avec l'objectif de pouvoir rouler en 2026.

D'une manière générale, afin de pouvoir circuler sur le réseau ferré national et assurer des services de transport ferroviaire, tout véhicule ferroviaire, nouveau ou modifié, doit disposer d'une **autorisation**¹. L'autorisation est délivrée par l'Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer (ERA) ou par l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF). Elle s'obtient sur présentation d'un dossier par le « demandeur ». La procédure fait l'objet du **règlement d'exécution UE 2018/545** de la Commission européenne du 4 avril 2018, établissant les « modalités pratiques du processus d'autorisation des véhicules ferroviaires et d'autorisation par type de véhicule ferroviaire ».

1 On pourra utilement sur ce sujet se référer au « Guide à l'usage des demandeurs d'autorisation par type et de mise sur le marché de véhicule ferroviaire » disponible en libre accès sur le site internet de l'EPSF.

Le demandeur doit fournir à l'appui de sa demande les justificatifs visés à l'annexe I du règlement. Ces justificatifs incluent des preuves de la compatibilité technique du véhicule avec le réseau ferré dans le domaine d'utilisation. Divers documents réglementaires définissent les exigences à satisfaire, à savoir les spécifications techniques d'interopérabilité (STI) de niveau européen et des règles nationales comme les spécifications d'autorisation du matériel (SAM), ainsi que les référentiels d'infrastructure et diverses normes appelées. Certaines des justifications sont obtenues par mesure du comportement en situation de la locomotive lors de circulations d'essai. Il en va ainsi de la compatibilité avec les circuits de voie ainsi que de la qualité de captage du courant à l'interaction entre le pantographe et la ligne aérienne de contact. Ces deux sujets faisaient l'objet de la campagne d'essais dans laquelle s'inscrivait la journée du 22 juillet 2024, jour de l'accident.

Plus précisément, quatre campagnes d'essais concouraient au recueil des justifications :

- l'une pour les **essais d'aptitude au shuntage**. Elle s'est déroulée à partir de septembre 2023 sur le site de Plouaret en région Bretagne ;
- une autre pour le **recueil des mesures sous tension caténaire de 1 500 V continu**. Elle s'est déroulée en mai et juin 2024 entre Vierzon et Les Aubrais en région Centre-Val de Loire, mais a été interrompue comme nous le verrons plus loin ;
- une autre pour le **recueil des mesures sous tension caténaire de 25 kV alternatif**. Elle a démarré le 15 juillet 2024 et était prévue jusqu'au 9 août 2024, en Alsace. Cette campagne a été interrompue par l'accident.
- une autre était prévue par la suite pour le **recueil des mesures sous le système européen de contrôle des trains (ETCS – European Train Control System)**.

Le **convoi d'essai**, pour les essais sous tension 25 kV, était composé d'une à deux locomotives TRAXX MS 3, numérotées 188 002 et 188 003, auxquels étaient attelées six voitures de type voyageur (voir figure 6). Les voitures en véhicules avaient la fonction de réaliser le poids frein nécessaire. Cependant suite à une malveillance sur les voitures, survenue le 16 juillet 2024 (nous y reviendrons plus en détail au § 3.2.7), le convoi du 22 juillet était réduit aux deux seules locomotives (schéma du bas en figure 6 et figure 1). La capacité de freinage nécessaire aux essais avait été évaluée comme suffisante.

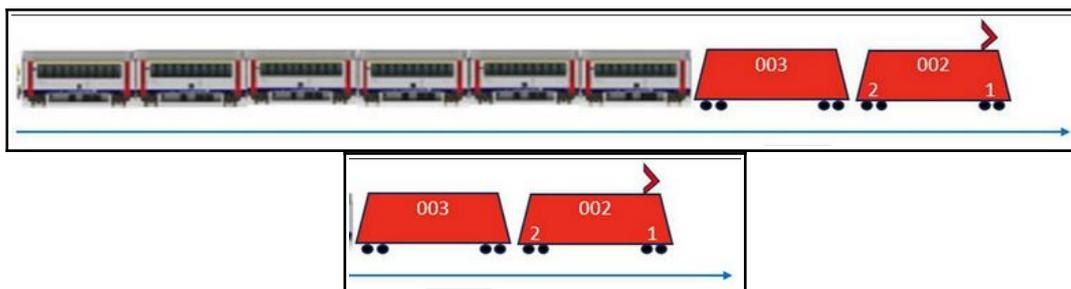


Figure 6 : le convoi prévu en nominal pour les circulations d'essai (en haut) et tel qu'il a circulé (en bas)

Les conditions de réalisation des essais sont cadrées par l'**arrêté du 23 mars 2021** relatif « aux autorisations temporaires de circulation ferroviaire aux fins d'essais ». Selon cet arrêté, un train d'essai doit faire l'objet d'une **autorisation temporaire pour circulation d'essai** (AUTE) délivrée par l'EPSF. Les modalités et conditions suivant lesquelles l'EPSF autorise les essais sont précisées dans un guide édité par l'EPSF, le « *Guide à l'usage des demandeurs d'autorisations temporaires à des fins d'essais et de catégories d'essais sur le réseau du système ferroviaire* ». Le processus s'initie notamment par une **demande d'autorisation temporaire d'essais** (DAUTE).

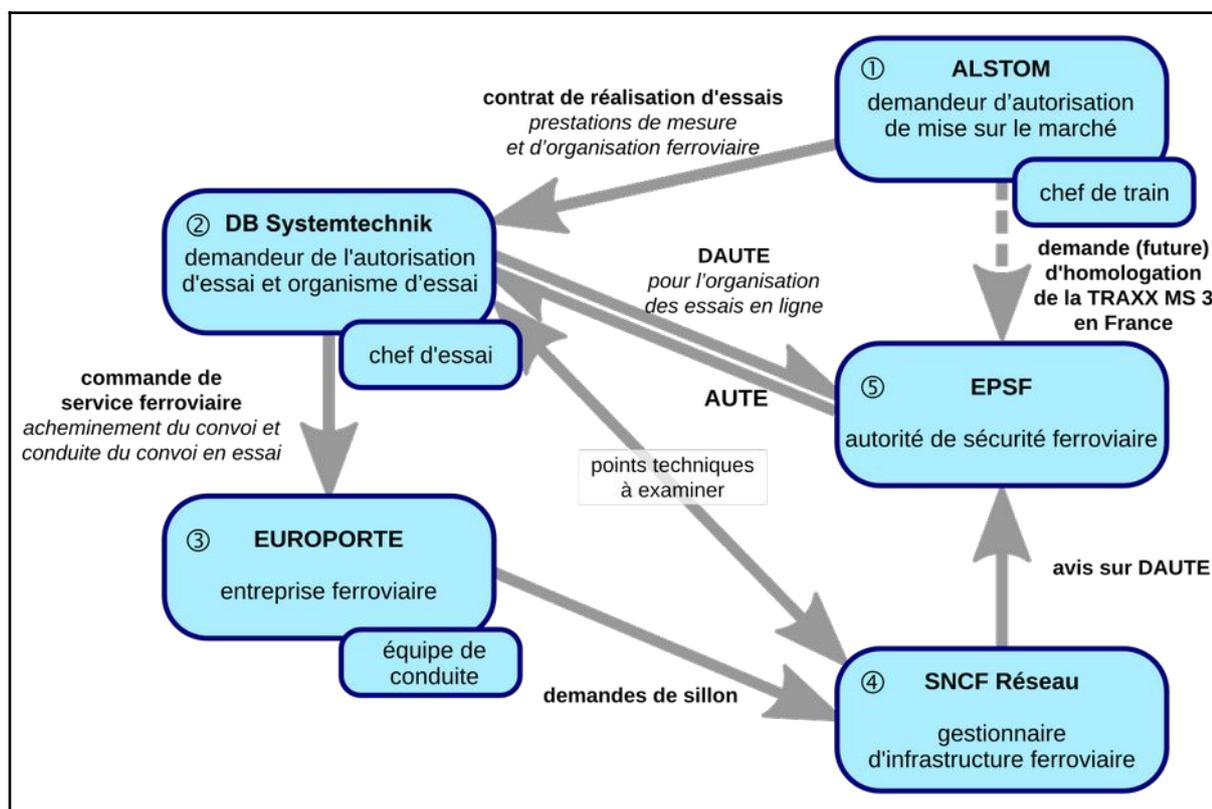
La DAUTE présente dans un dossier les conditions de réalisation des circulations d'essai : la consistance des essais, l'organisation mise en place, les configurations des circulations d'essai, la gestion de la sécurité et des situations d'incident, les mesures de couverture des risques (une analyse de risques complète est exigée), l'état sanitaire du train d'essai, l'avis du gestionnaire d'infrastructure, etc. Vingt items sont au total à renseigner et à justifier dans le dossier par le demandeur (voir guide EPSF). La formalisation de ces points d'attention est une garantie pour la sécurité des circulations d'essai.

Pour l'organisation des essais en ligne sous tension de 1 500 V de la locomotive TRAXX MS 3, la DAUTE a été déposée le 15 mars 2024. Elle a donné lieu à une AUTE délivrée par l'EPSF le 15 mai 2024, suspendue le 14 juin 2024 à la suite d'un incident que nous décrivons plus loin (§ 3.2.7). Pour les essais sous tension 25 kV en cours lors de l'accident, il y a eu une nouvelle DAUTE déposée le 21 juin 2024. L'AUTE a été délivrée par l'EPSF le 11 juillet 2024. Cette dernière a fait l'objet d'un retrait par l'EPSF à la suite de l'accident, le 31 juillet 2024.

Ainsi, l'essai du 22 juillet se déroulait dans un cadre réglementaire défini, dont les étapes étaient correctement suivies.

3.1.3 - Les acteurs impliqués dans la réalisation des essais

Comme nous l'avons dit, les essais d'homologation sont cadrés par l'arrêté du 23 mars 2021. L'essai mobilise différents acteurs aux fonctions et responsabilités définies dans l'arrêté. Nous faisons, ci-après, une brève description des principaux acteurs impliqués dans la campagne d'essais et de leur rôle respectif. Il s'agit d'entités intervenantes, mais aussi au sein de ces entités, de personnes ou groupes de personnes ayant un rôle défini par l'arrêté. La figure 7 récapitule sous forme de schéma ces acteurs ainsi que leurs interactions.



Figur

re 7 : les acteurs du processus d'essai ferroviaire de la TRAXX MS 3

1- Le demandeur d'autorisation de mise sur le marché de la TRAXX MS 3 : Alstom Kassel

Alstom Transportation GmbH Kassel (nommée Alstom Kassel ou Alstom par la suite) est une société du groupe multi-national Alstom, spécialisée dans la fabrication de locomotives dont le siège est à Kassel en Allemagne. Cette société a été acquise par le groupe Alstom en 2021 dans le cadre du rachat des activités ferroviaires de Bombardier.

Les équipes contribuant à la fabrication des locomotives TRAXX sont réparties sur deux sites en Allemagne : Kassel et Mannheim. Sommairement, à Kassel se situent les ateliers de construction et le siège, et, à Mannheim s'effectue l'ingénierie, des entités qui ont travaillé pour les essais. À titre indicatif, il faut environ 4 000 heures de travail d'agents Alstom pour construire une locomotive.

Alstom Kassel prépare la vente de la locomotive TRAXX MS 3 pour des services ferroviaires en France. À ce titre et comme nous l'avons déjà dit, l'entreprise avait initié un processus d'autorisation de mise sur le marché de la locomotive pour le réseau ferré français. Le préalable était de recueillir les preuves de la compatibilité technique de l'engin avec le réseau français au moyen des campagnes d'essais. Alstom intervient ainsi comme futur demandeur de l'autorisation de la locomotive TRAXX sur le réseau français, et, dans l'immédiat, comme client commanditaire des essais préalables. Alstom fournit les locomotives d'essai.

Alstom met à disposition, pendant toute la durée de la campagne, un ingénieur d'essai, appelé également « **chef de train** ». Son rôle est de prendre en charge les enjeux de maintenance du train pour que ce dernier soit opérationnel, et de préparer le test et mettre en œuvre la méthodologie d'essai pour certaines tâches qui le concerne.

2- L'organisme d'essai : DB Systemtechnik

Alstom Kassel a confié la conduite de la campagne d'essais sous tensions 1 500 V et 25 kV à un organisme d'essai, la société DB Systemtechnik (DBST).

La société **DB Systemtechnik GmbH** est le centre d'ingénierie et d'essai du groupe ferroviaire national allemand Deutsche Bahn (DB). Forte d'environ 1 100 collaborateurs, elle constitue un centre de compétence européen majeur en matière de technologie ferroviaire. DB Systemtechnik agit dans ce dossier d'essais par l'intermédiaire de sa succursale française dont le siège est à Paris.

Le terme « **organisme d'essai** » désigne un organisme accrédité pour effectuer des essais (ou qui justifie auprès de l'EPSF du respect d'exigences organisationnelles équivalentes à l'accréditation) et qui exécute les essais. DB Systemtechnik est organisme d'essai, certifié ISO 9001 et accrédité par l'organisme DAKKS selon l'ISO CEI 17025.

DB Systemtechnik est titulaire du contrat (sous forme de commande) avec la société Alstom pour la réalisation d'essais dont l'objet est : « *réaliser des prestations de mesure et d'organisation ferroviaire, comprenant des mesures de compatibilité électromagnétique, des essais de manœuvre, des vérifications de la compatibilité du pantographe avec les caténaires ainsi que la compatibilité avec les circuits de voie afin de prouver la conformité de la locomotive TRAXX MS 3 aux règles techniques françaises* ».

DB Systemtechnik intervient donc d'abord comme organisateur ensemblier des essais, puis comme installateur sur le train d'essai des instruments de mesure nécessaires au recueil des preuves de compatibilité, et enfin comme réalisateur des mesures. Il est également, au titre de son rôle d'ensemblier, le demandeur de l'autorisation temporaire pour les circulations d'essai (DAUTE) à l'EPSF. Il est enfin le client de l'entreprise ferroviaire pour les services ferroviaires, que nous évoquons ci-après.

Le demandeur de l'autorisation d'essai doit désigner un « **chef d'essai** ». Le chef d'essai est à bord du train d'essai (ce qui était bien le cas lors de l'accident). Il est responsable de l'exécution de l'essai, et doit particulièrement s'assurer de l'application des prescriptions relatives aux circulations d'essai et du respect des consignes de sécurité.

Enfin l'essai mobilise divers **ingénieurs ou techniciens de mesure** de l'organisme d'essai, pour faire fonctionner les instruments de mesure de leur spécialité, et recueillir les paramètres mesurés. Quatre d'entre eux étaient à bord lors de l'accident, deux pour la surveillance du pantographe et les mesures de captage du courant, et deux pour la surveillance des courants perturbateurs vis-à-vis des circuits de voie.

3- **L'entreprise ferroviaire : Europorte France**

DB Systemtechnik n'est pas détentrice d'un certificat de sécurité sur le système ferroviaire français. Cette société sous-traite donc l'organisation du service ferroviaire à une autre société détentrice d'un certificat d'entreprise ferroviaire, en l'occurrence **Europorte France**.

Europorte France, désignée par la suite Europorte ou EPF, est une société intervenant en France sur l'ensemble de la chaîne logistique du transport ferroviaire de marchandises, du chargement des wagons sur les embranchements privés, à leur collecte et à leur acheminement sur le réseau ferré, jusqu'à leur déchargement, en incluant la maintenance du matériel roulant et la gestion de certaines infrastructures ferroviaires. Son siège social est à Lille. Elle est titulaire d'un certificat de sécurité délivré par l'EPSF depuis 2006, renouvelé depuis et valable jusqu'au 30 septembre 2026.

Europorte France a signé avec DB Systemtechnik, en décembre 2020, un contrat cadre pour la fourniture de services d'entreprise ferroviaire. Les essais de la TRAXX MS 3 font l'objet d'une commande sur ce contrat en date du 26 avril 2024. Les services à délivrer comprennent l'acheminement du convoi entre la base de rattachement du train située au centre d'essai ferroviaire de Nançois – Tronville-en-Barrois (Meuse) et les sites d'essai, et, la conduite du convoi en essai. Ils incluent aussi la prestation de demande des sillons au gestionnaire d'infrastructure.

La conduite du convoi d'essai mobilise une « **équipe de conduite** », comprenant ici un **conducteur** ainsi que, par obligation de l'arrêté du 23 mars 2021, un « **dirigeant qualifié du service de conduite** » (**DQSC**). Le DQSC a notamment pour rôle selon l'arrêté « *de limiter le nombre de personnes présentes en cabine* », « *de recueillir, analyser et faire exécuter au moment opportun par le conducteur les demandes de manipulations particulières* » et « *d'assurer la liaison entre le chef d'essai et le service chargé de la gestion des circulations [du gestionnaire d'infrastructure]* ». Ce DQSC, bien entendu présent à bord, était en cabine de conduite et est le cadre qui a été grièvement blessé lors de l'accident.

4- **Le gestionnaire d'infrastructure : SNCF Réseau**

L'essai se déployant sur le réseau ferré national exploité, il mobilise le gestionnaire d'infrastructure national, **SNCF Réseau**. Ce dernier intervient à plusieurs étapes du processus :

- En amont de la DAUTE, pour fournir un avis préalable à l'introduction de la DAUTE, relatif à l'adéquation entre les conditions prévues pour l'essai et les règles d'exploitation applicables.

L'instruction de l'avis demande plusieurs échanges entre l'organisme d'essai, le gestionnaire d'infrastructure et l'EPSF qui ont eu lieu entre avril et juillet 2024. 45 points techniques de questionnement ont été ouverts par SNCF Réseau, et ont été instruits lors du processus.

- En amont des circulations d'essai, pour l'attribution des capacités d'infrastructure nécessaires à chaque circulation d'essai, ainsi que la commande des facilités essentielles associées (garage, traction électrique, etc.).

Les demandes de « sillons » s'effectuent 3 mois à l'avance. Elles font l'objet d'ajustements en cas d'aléas d'organisation durant la campagne d'essais, comme nous le verrons plus loin. Environ 120 sillons ont été demandés pour les essais sous tension 25 kV.

- Enfin lors de l'essai, pour gérer la circulation.

5- L'autorité de sécurité ferroviaire : EPSF

L'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF), autorité française de sécurité ferroviaire, instruit et délivre les autorisations temporaires pour circulation d'essai (AUTE) en lien avec le demandeur. Il intervient aussi en tant qu'entité en charge de la surveillance des acteurs ferroviaires, moyennant des contrôles, des audits et des inspections. Pour mémoire, l'autorisation par type du véhicule ferroviaire de la TRAXX MS 3, s'agissant d'un matériel interopérable, sera délivré dans le futur par l'Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer (ERA). L'EPSF interviendra dans le processus pour l'évaluation de la demande en tant qu'autorité nationale de sécurité, conformément aux missions et tâches définies dans le règlement UE 2018/545 précité.

3.1.4 - La consistance de la campagne d'essais commencée en juillet 2024

L'essai du 22 juillet 2024 s'inscrivait dans une campagne visant à vérifier la compatibilité de la locomotive TRAXX MS 3 avec le réseau français sous ligne de contact 25 kV.

La campagne était prévue de s'organiser sur 20 jours ouvrables d'essais, soit 4 semaines programmées du lundi 15 juillet au vendredi 9 août. Chaque jour comprend 2 à 4 marches d'essai (i.e. un A/R ou deux A/R), avec un total de 120 marches. Nous décrivons ci-après les grandes lignes des essais tels que ceux-ci étaient planifiés à l'origine, avant leur interruption par l'accident, au 6^{ème} jour de campagne.

Une part importante de la campagne se consacre aux **mesures liées au captage du courant et au comportement du pantographe**. Les exigences sont définies par une recommandation émise par l'EPSF, la **SAM E 903** (*Captage – Interaction pantographe / ligne aérienne de contact*), ainsi que diverses normes appelées. L'objectif est de vérifier, comme précisé dans la SAM E 903, que « *les caractéristiques du pantographe de la locomotive permettent une alimentation ininterrompue en énergie pour la traction et pour le freinage par récupération, et que, les efforts imposés par les pantographes à la caténaire sont compatibles avec les caractéristiques géométriques et mécaniques de celle-ci* ».

Les essais se déroulent entre Mulhouse et Belfort. Les mesures à effectuer sont notamment :

- La mesure du soulèvement de la caténaire. Celui-ci doit rester inférieur à 80 mm.

Cette mesure s'effectue depuis le sol au passage de la circulation, au droit du bras de rappel de quatre supports successifs. La station de mesure est installée à Illfurt au PK 482, 2 km après la gare de Zillisheim (lieu de l'accident).

- La mesure du taux d'arc qui évalue la qualité du captage².

2 La **mesure du « taux d'arc »** répond aux exigences de la norme EN 50317 (norme sur les « systèmes de captage de courant – mesures de l'interaction dynamique entre le pantographe et la caténaire »). Cette mesure du « taux d'arc », ou de la qualité de « non-captage » (terme employé par la norme), permet d'apprécier les pertes de contact entre le pantographe et la caténaire en ligne. Les pertes de contact s'accompagnent en effet de générations d'arcs électriques que le système de mesure installé va

- La mesure du temps de montée et descente du pantographe, pour qu'à la montée la vitesse de toucher soit acceptable et qu'à la descente (en cas d'incident) la durée soit assez courte (10 s au plus).

Différentes configurations de pantographes, de couplages ou non de locomotives, et différentes vitesses sont testées. Le principe est une montée en vitesse progressive jusqu'à 160 km/h, de manière à arrêter les essais si les mesures devaient dépasser les valeurs admissibles.

3 jours en milieu de campagnes (du 29 au 31 juillet) sont consacrés à des mesures des courants harmoniques pour la **compatibilité avec les circuits de voies**. Les exigences sont définies par la **SAM S 003** (*Protocole de vérification de la compatibilité électromagnétique des matériels roulants avec les circuits de voie*). Les marches se déroulent entre Mulhouse et Strasbourg, en survitesse de 176 km/h. À cette vitesse, la locomotive est surveillée en comportement dynamique.

Le programme de la campagne d'essais sous tension 25 kV peut se schématiser ainsi :

- semaine 29 (du 15/7 au 19/7) : essais en unité simple, de 80 à 120 km/h ;
- semaine 30 (du 22/7 au 26/7) : essais en unité double de 80 à 100 km/h (semaine de l'accident) ;
- semaine 31 (du 29/7 au 2/8) : essais en survitesse, puis en unité double de 120 à 140 km/h ;
- semaine 32 (du 5/8 au 9/8) : essais en unité double de 120 à 160 km/h.

Suite à divers incidents qui ont émaillé le début de la campagne et que nous aborderons plus précisément au § 3.2.7, seule une demi-journée d'essai a été réalisable sur la semaine 29, celle du jeudi 18 juillet matin. Le lundi 22 juillet 2024, jour de l'accident, était le sixième jour du programme prévisionnel mais en réalité le deuxième à permettre l'organisation d'une marche d'essai pour la campagne.

3.1.5 - La configuration de l'essai en unité simple ou en unité double

La journée d'essai du 22 juillet 2024 prévoyait initialement un aller-retour pour un **essai en unité double**. Cet essai signifie que deux pantographes sont à la caténaire, un pour chaque locomotive. Cette configuration reproduit une situation commerciale de deux locomotives en unité multiple offrant une puissance de traction maximale. A contrario, pour un **essai en unité simple**, il y a un seul pantographe à la caténaire sur une seule motrice. L'autre locomotive est en véhicule. Selon qu'il y ait un ou deux pantographes levés, les sollicitations mécaniques de la caténaire ne sont pas les mêmes.

Le 22 juillet, en raison d'une difficulté à mettre en place la configuration en unité double prévue (deux pantographes), l'essai a finalement eu lieu en unité simple (un pantographe). Ce changement sera expliqué en détail dans la description des faits au chapitre 3.2.

Sur un plan opérationnel, quelle que soit la configuration adoptée (simple ou double) et en situation d'essai nominale, les deux locomotives ne sont pas accouplées avec commande par le conducteur de tête (ce que l'on appelle en terminologie ferroviaire une « unité multiple »). Elles restent commandées indépendamment chacune par un conducteur, ce qui s'appelle la « **double traction** ». Les deux conducteurs doivent synchroniser leurs

détecter et quantifier en intensité et en durée. La norme définit le taux d'arc comme étant le ratio entre la durée totale des arcs dépassant 5 millisecondes, et le temps pendant lequel la puissance du courant délivré à la locomotive dépasse 30 % de la puissance nominale de celle-ci. Le ratio traduit la non-qualité de passage du courant entre le pantographe et le fil de contact. Il doit être inférieur à 10 %.

gestes. C'est ce qui est formalisé dans le dossier de DAUTE. Un des conducteurs est en cabine de conduite de la locomotive menante et il conduit. Il est accompagné du DQSC. L'autre conducteur est en cabine de conduite de la locomotive menée. Ce dernier échange des informations sur la conduite avec le DQSC en interphonie.

Deux opérations de conduite sont spécifiques aux essais :

- Premièrement, l'essai requiert la manœuvre du ou des pantographes pour le ou les abaisser dans les zones sensibles.

En effet, les garanties de bon comportement du pantographe ne sont pas acquises, car elles ne le seront qu'après réalisation des essais et validation du dossier d'autorisation. Les pantographes doivent donc être abaissés dans certaines phases critiques des trajets (passage de section de séparation par exemple).

En configuration d'unité simple, le conducteur de la motrice manœuvre le pantographe de sa locomotive, l'autre conducteur n'a pas de manœuvre à réaliser. En configuration d'unité double, chaque conducteur manœuvre les pantographes de la locomotive où il se trouve.

- Deuxièmement, l'essai permet une mesure du taux d'arc. La mesure nécessite de rechercher de la puissance de courant au pantographe qui doit être consommée de manière rhéostatique (par les rhéostats des locomotives).

Le chef d'essai détermine auparavant les modalités pour organiser la dissipation rhéostatique. Différentes modalités sont possibles : soit à partir d'une locomotive qui freine alors que l'autre locomotive tire ; soit en consommant aux rhéostats suffisamment de courant sur la locomotive motrice, sans besoin de freiner avec l'autre locomotive. Il en résulte que le second conducteur sera mobilisé ou non selon la modalité adoptée, que l'on soit en configuration d'unité simple ou d'unité double.

Au total, il est important de retenir que dans la configuration en unité double, le deuxième conducteur a une tâche incontournable qui est de manœuvrer le pantographe de sa locomotive, alors qu'il n'a pas une telle tâche incontournable en unité simple.

Enfin, il existe une spécificité lorsque la locomotive 188 003 est menante et la locomotive 188 002 est menée. En effet la locomotive 188 003, contrairement à la 188 002, n'est pas autorisée à assurer la traction en tête de convoi du fait d'un problème d'interférence de ses moteurs de traction avec son système de contrôle de vitesse par balises (KVB).

Pour néanmoins effectuer les essais dans ce cas et palier cette contrainte, Alstom a développé un mode de circulation où la locomotive 188 003 en tête est en voiture pilote. Il est appelé le « **mode pilote** ». Les moteurs de la locomotive 188 003 sont isolés et la traction est déportée sur la locomotive 188 002 (voir schéma en figure 8).

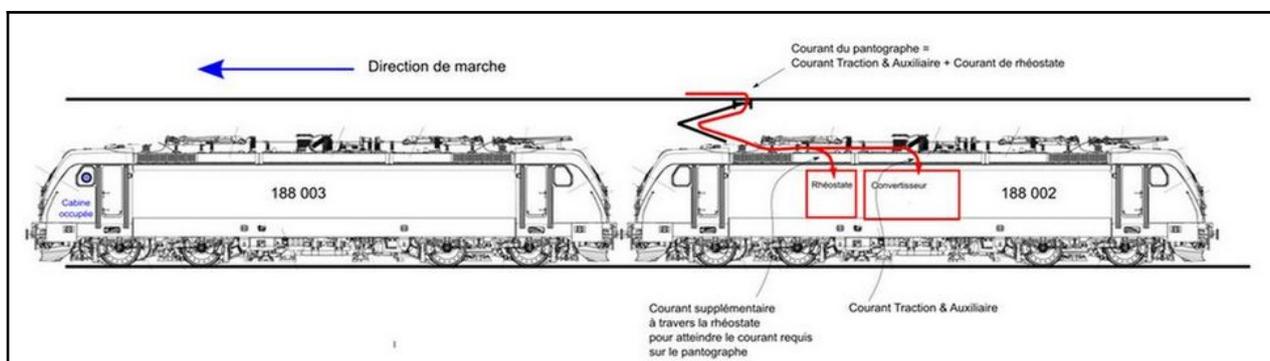


Figure 8 : le mode pilote lorsque la locomotive 188 003 est en tête

3.1.6 - Le parcours de la marche d'essai de l'accident

Le lundi 22 juillet 2024 a eu lieu un premier aller d'essai entre Belfort et Mulhouse-Nord-triage, de 12 h 40 à 13 h 42. L'accident se produit sur le trajet de retour de Mulhouse-Nord-triage vers Belfort, avec un garage à Montbéliard. Le départ est à 15 h 20. La circulation porte le numéro 351 923.

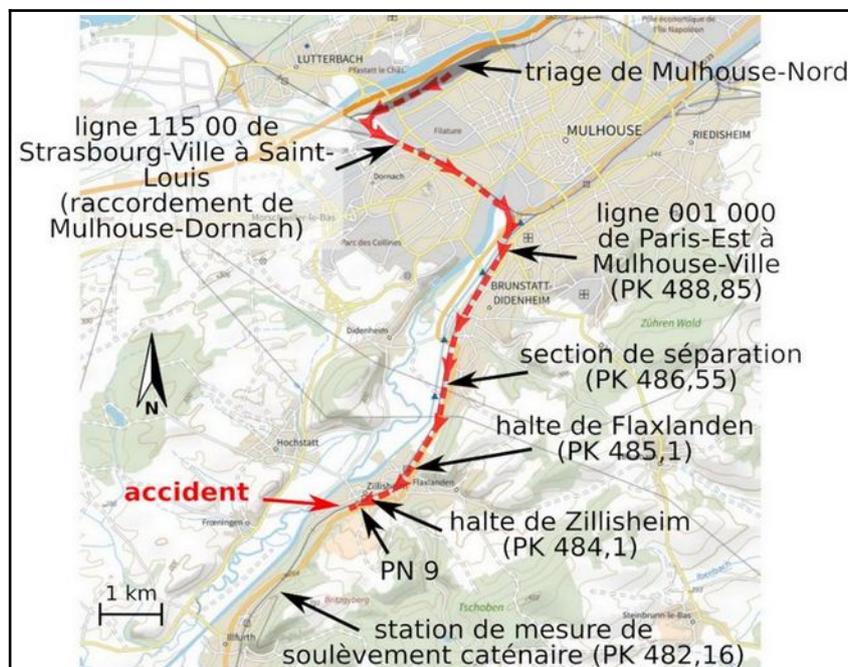


Figure 9 : parcours de la circulation d'essai 351 923 de l'accident

Dans ce trajet de retour, le convoi quitte le triage de Mulhouse-Nord par l'ouest, puis il emprunte vers le sud la bifurcation du raccordement de Mulhouse-Dornach sur la ligne 115 000 de Strasbourg-Ville à Saint-Louis. Le convoi marque l'arrêt au signal d'entrée sur la ligne. Le convoi roule ensuite 3 km sur la ligne en direction du sud-est, il franchit la rivière l'Ill, puis il emprunte le raccordement court de Mulhouse vers la ligne 001 000 de Paris-Est à Mulhouse-Ville (PK 488,85). Le convoi marque à nouveau l'arrêt au signal d'entrée sur la ligne. Il passe alors une section de séparation au PK 486,55. Il passe ensuite la halte de Flaxlanden (PK 485,1), la halte de Zillisheim (PK 484,1), puis le PN 9 (passage à niveau n° 9) en sortie de gare (PK 484,04) où se produit l'accident.

Après le lieu de l'accident, se situait la station de mesure de soulèvement caténaire à Illfurth au PK 482,16, puis plus loin Belfort (PK 442,7) et enfin, sur la ligne 852 000 de Dole-Ville à Belfort, Montbéliard 16 km après Belfort, la destination finale.

Au lieu de l'accident, la ligne 001 000 est à double voie, avec circulation à gauche. L'espacement des trains est réalisé au moyen d'un bloc automatique lumineux (BAL). Le courant est de type alternatif monophasé 50 Hz de 25 kV. La vitesse maximale de ligne est de 160 km/h.

3.1.7 - La météorologie du 22 juillet 2024

Le lundi 22 juillet 2024, le ciel était ensoleillé et très peu nuageux à Zillisheim.

La température à 16 h, heure approximative de l'accident, était de 25° C, le taux d'humidité de 60 % et la vitesse du vent de 30 km/h. Aucune précipitation n'était en cours.

3.2 - La description factuelle des événements

3.2.1 - Les résumés des témoignages

Les résumés présentés ci-dessous sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations, orales ou écrites, dont ils ont eu connaissance. Ils ne retiennent que les éléments qui paraissent utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des événements et pour formuler des recommandations. Il peut exister des divergences entre les différents témoignages recueillis ou avec les constats et les analyses présentées par ailleurs.

La figure ci-dessous récapitule le positionnement des agents à bord de la locomotive 188 002 lors de l'accident. Deux agents sont positionnés en cabine avant (côté gauche de la figure), à savoir le conducteur et le dirigeant qualifié du service de conduite (DQSC). Six agents sont positionnés en cabine arrière à savoir le chef d'essai, l'ingénieur de mesure pantographe, l'ingénieur Alstom et 3 autres opérateurs de mesure de DB SystemTechnik.

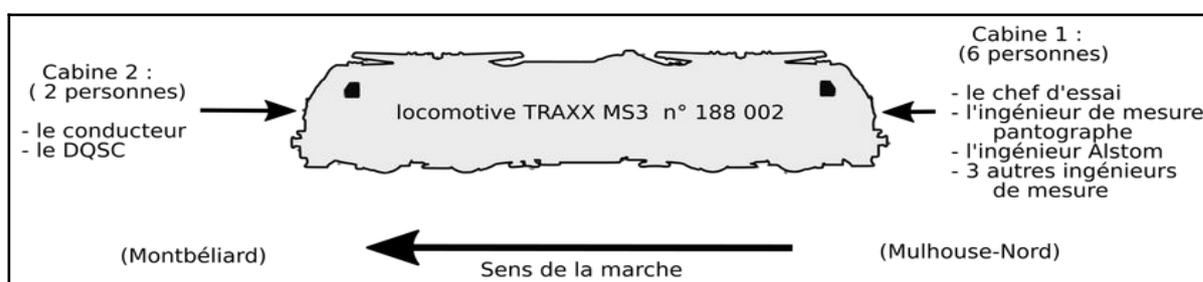


Figure 10 : positionnement des agents dans la locomotive au moment de l'accident

Le conducteur du train

Le conducteur travaille chez Europorte. Il conduit normalement sur le secteur de Narbonne. Il sort quelquefois de son unité habituelle pour conduire des trains d'essai, et ceci depuis 2021. Il a ainsi suivi plusieurs campagnes d'essais, et, depuis trois semaines, il est sur la campagne d'essais de la locomotive TRAXX MS 3. Il parle le français.

Lundi 22 juillet, il prend son service à 9 h à Montbéliard. Il effectue d'abord un trajet en voyageur pour rejoindre Belfort où les locomotives d'essai sont garées.

La première marche d'essai devait initialement s'effectuer en unité double. Toutefois il subsistait une difficulté de télécommande du pantographe de la locomotive menée. Après un essai de télécommande sur place non concluant, le chef d'essai a pris la décision de faire partir le train non pas dans la configuration prévue, mais dans une configuration en unité simple, avec le seul pantographe de la locomotive menante actif et l'autre locomotive en véhicule.

L'objectif de cette marche était de faire une mesure de soulèvement de la caténaire et des mesures de courants électriques.

La première marche les conduit jusqu'à Mulhouse-Nord-triage.

À l'arrivée, le conducteur a vu que les ingénieurs ont essayé de trouver une solution pour remédier au problème de télécommande du pantographe en unité double. Mais il s'est avéré que cela ne marchait pas. Le chef d'essai a donc décidé de repartir pour la deuxième marche d'essai prévue entre Mulhouse-Nord et Montbéliard dans la configuration en unité simple.

Cela a conduit le conducteur à devoir manœuvrer la locomotive 188 002 sur le faisceau pour la replacer devant la locomotive 188 003.

Après l'essai de frein de raccordement, le train d'essai est prêt au départ. Ils sont deux dans la cabine 2 à l'avant de la locomotive 188 002 : lui et le dirigeant qualifié du service de conduite (DQSC) qui se tient à sa gauche. Le départ s'effectue à 15 h 20, à l'heure prévue, en empruntant d'abord le raccordement de Dornach. Il y a ensuite une attente au signal à l'entrée de la ligne vers Belfort et Montbéliard, afin de laisser passer des circulations voyageurs. Une fois en ligne, le train passe une section de séparation. Il est demandé au conducteur de faire, au passage de la section de séparation, un « baisser pantographe ». Mais à la remontée du pantographe celui-ci retombe et s'isole. Il doit alors marquer un arrêt pour le réactiver.

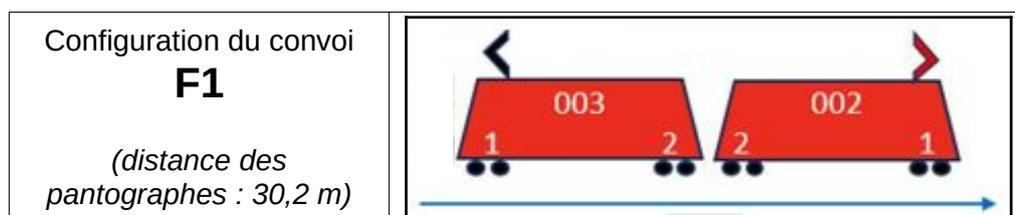
Le conducteur repart alors et atteint la vitesse de croisière de 100 km/h. Vers 15 h 55, au passage de la gare de Zillisheim, il entend un grésillement sur le côté gauche de la cabine de conduite, à proximité immédiate du DQSC. Au début il ne s'inquiète pas, mais cela devient de plus en plus bruyant. De ce fait, il initie un freinage d'urgence. Au même moment, le DQSC pousse avec le pied un câble de type Ethernet. Une explosion se produit sur le côté gauche de la cabine. Le DQSC est projeté juste derrière le siège du poste de conduite où il se trouve. Le conducteur se retourne et le voit inerte au sol, comme tétanisé. Il comprend très vite qu'il a été électrisé. Le conducteur a un instant de stupeur puis il commande l'abaissement du pantographe. Le train s'arrête.

Le DQSC reprend un peu ses esprits, mais il est gravement blessé. Son tee-shirt a pris feu. Une flammèche sort de la semelle d'une des chaussures de sécurité que le conducteur éteint avec son pied. Il file alors vers la cabine arrière appeler le chef d'essai à l'aide. À 15 h 59, il avise le régulateur de Strasbourg de la situation, tandis que le chef d'essai appelle le service des secours. Puis, il fait descendre les autres agents qui sont en cabine 1, pour qu'ils se mettent en sécurité sur la piste en bord de voie. Étant pompier volontaire, il effectue dans l'attente des secours les premiers gestes d'urgence, accompagné du chef d'essai.

Le chef d'essai

Le chef d'essai travaille pour l'entreprise DB Systemtechnik. Son entité de rattachement réalise des essais en vue d'autoriser les matériels roulants à rouler sur le réseau français. En tant que chef d'essai, il est lui-même en charge de l'organisation et de la conduite de campagnes d'essais de la locomotive TRAXX MS 3. Il parle le français, l'anglais et l'allemand.

Lundi 22 juillet 2024, il se rend à Belfort, au site de garage des locomotives, afin de participer à une journée de marches d'essai. Le programme prévu consiste en un aller et retour Belfort / Mulhouse-Nord-triage, avec garage à Montbéliard. La circulation « aller » doit être effectuée avec deux locomotives couplées en unité double, avec deux pantographes sur la caténaire, en configuration dite F1.



Lors de la semaine précédente, la campagne avait connu des aléas perturbant le programme prévu, faisant perdre quelques jours d'essais. Ce lundi, il y avait un nouvel aléa : il n'y a qu'un seul conducteur, alors que normalement deux sont prévus.

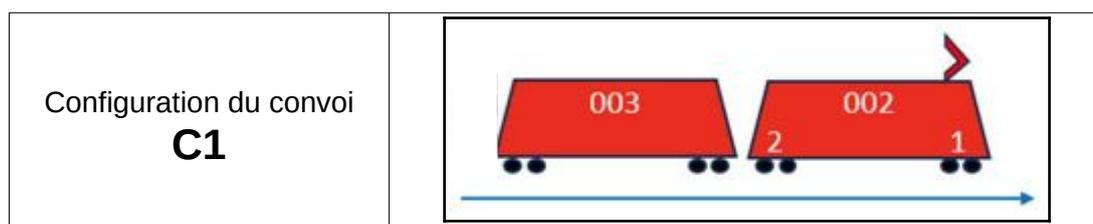
Le conducteur de la machine menée a deux missions : effectuer le freinage rhéostatique quand demandé, et effectuer les montées et descentes du pantographe selon le besoin. Pour le pantographe, l'objectif est de ne monter celui de la locomotive menée que lorsque cela est nécessaire, afin de limiter le risque d'arrachement de la caténaire. La vérification de la compatibilité entre le pantographe et la caténaire n'est effectivement pas démontrée au moment des essais, elle est l'objet même de ces essais.

L'absence de deuxième conducteur avait été connue en fin de semaine passée. Le chef d'essai avait demandé, le vendredi, à l'ingénieur d'Alstom de contrôler la descente et la montée des pantographes de chaque locomotive indépendamment, avant et pendant le trajet, dans le mode dit « pilote » où les commandes de la locomotive menée seraient déportées dans la locomotive menante.

Ce lundi 22 juillet 2024, les équipes arrivent à 9 h. Les opérations de préparation pour la première marche prévue à 12 h 40 se déroulent normalement : calibrage des instruments de mesure, allumage et préparation du train, essai de freins, etc. Le chef d'essai, quant à lui, vérifie le système de télécommunication interne au train, il relit les documents descriptifs des marches d'essai et il prépare la fiche de marche d'essai à suivre pendant l'essai. Il reçoit l'assurance de l'ingénieur d'Alstom que la télécommande du pantographe est possible.

À 12 h, le chef d'essai organise le briefing d'avant départ au pied de la locomotive. Les huit personnes qui seront à bord y sont présentes, à savoir lui-même, le conducteur, le dirigeant qualifié du service de conduite (DQSC), l'ingénieur d'Alstom et quatre opérateurs en charge des mesures pendant l'essai. Le chef d'essai relit et commente la fiche de marche d'essai au groupe.

Au cours du briefing, le chef d'essai demande à l'ingénieur d'Alstom que soit testé avant le départ, le pilotage d'un pantographe d'une locomotive depuis l'autre. Mais après le briefing, l'ingénieur d'Alstom vérifie et constate qu'il n'est pas possible de piloter le pantographe d'une locomotive depuis l'autre locomotive. Vingt minutes avant le départ, le chef d'essai décide alors de modifier le programme d'essai et de revenir à un essai sur une unité simple, en configuration dite C1. La seconde locomotive est remorquée en véhicule. Un tel essai en unité simple avait déjà été réalisé le jeudi 18 juillet mais la qualité des mesures n'était pas optimale. Il s'agissait donc de reconduire l'essai.



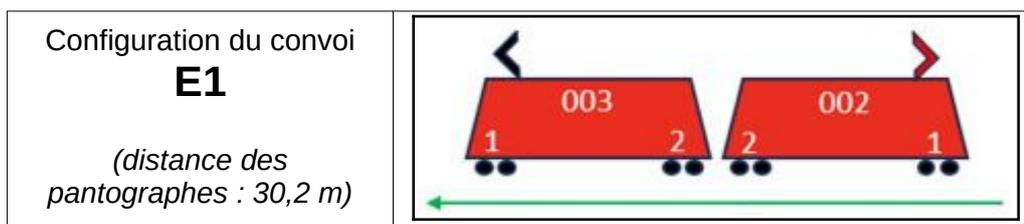
Le train d'essai part à 12 h 40, l'horaire prévu. Le chef d'essai est monté dans la cabine 2 arrière de la locomotive motrice, la cabine 1 avant ne devant être occupée que par le conducteur et le DQSC. La marche jusqu'à Mulhouse-Nord-triage se déroule dans des conditions satisfaisantes. Le trajet connaît néanmoins deux arrêts en raison de prises en charge par la veille automatique (le dispositif d'« homme mort »³). L'arrivée s'effectue à 13 h 42.

À l'arrivée à Mulhouse-Nord-triage, l'hypothèse de revenir au programme initial est évoquée, car l'ingénieur d'Alstom propose de piloter le pantographe d'une locomotive depuis l'autre via le passage d'un câble Ethernet⁴ entre les deux cabines des engins

3 La veille automatique à contrôle de maintien d'appui (Vacma), appelée aussi « homme mort », immobilise le train d'urgence, 5 secondes après une sonnerie d'alerte si le conducteur ne manifeste pas d'activité.

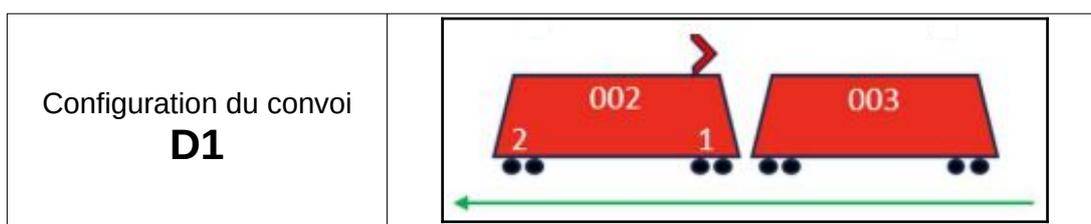
4 Un câble Ethernet est un câble électrique utilisé pour la transmission de données informatiques entre des

moteurs. Le chef d'essai accepte que cette solution soit regardée. Elle permettrait de revenir au programme initial, à savoir un essai en configuration d'unité double, avec deux pantographes, configuration dite E1. Le départ est prévu plus tard à 15 h 20.



À 14 h 20, le chef d'essai voit que l'ingénieur d'Alstom et l'ingénieur de mesure pantographe de DB Systemtechnik, qui lui apporte assistance, n'aboutissent pas. Le câble Ethernet disponible est trop court. Le chef d'essai prend alors la décision d'arrêter la solution avec câble et de poursuivre avec un essai en unité simple en configuration D1. Il précise qu'il n'a pas vraiment visualisé le montage qui était en train d'être fait et qu'il est alors persuadé que le câble envisagé pour la marche avait été retiré après sa demande d'arrêter la solution. Se focalisant sur la préparation de la marche à venir, il ne se préoccupe donc pas du devenir du câble et ne s'aperçoit pas que celui-ci est resté en l'état de sa tentative de pose.

Le passage en configuration D1 nécessite une manœuvre en gare pour l'inversion des deux locomotives. Cette manœuvre est réalisée sans délai.



Avant le départ, le chef d'essai révisé la marche avec le DQSC par interphonie. Le train d'essai part à 15 h 20, l'horaire prévu. La marche se déroule normalement au début, hormis une anomalie de retombée du pantographe au passage de la section de séparation qui conduit à un court arrêt en ligne.

Au passage de la gare de Zillisheim, avant 16 h, il entend des grésillements par la liaison audio avec la cabine avant. Puis il entend une explosion. La communication audio et vidéo avec la cabine avant s'interrompt. Le train s'arrête. Le conducteur entre alors en cabine arrière pour dire que le DQSC s'est fait électrisé. Ayant, le conducteur et lui-même, des compétences en secourisme, ils retournent dans la cabine avant porter secours au blessé. Dans la cabine, il constate que l'alerte radio s'est déclenchée. Il y a des « bips » persistants. Il aperçoit de la fumée pas trop épaisse et sent une odeur de brûlé. Il apporte, avec le conducteur, les premiers secours à leur collègue.

Les pompiers arrivent ensuite à 16 h 37.

L'ingénieur d'Alstom (chef de train)

L'ingénieur travaille au bureau d'études de conception des locomotives. Il a travaillé sur la conception de la locomotive TRAXX MS3 PR02. En tant qu'ingénieur d'études, il peut participer parfois à des campagnes d'essais en ligne. Il n'est pas l'ingénieur initialement affecté au suivi de la campagne d'essais. Il est venu pour remplacer l'ingénieur titulaire, absent depuis la semaine passée. Il parle l'allemand et l'anglais, mais pas le français. Son

ordinateurs. Il est muni aux extrémités de fiches caractéristiques RJ45.

rôle est principalement de forcer, à bord en cours d'essai, certains signaux dans le logiciel de la locomotive pour tester le comportement, tel que demandé par le protocole d'essai.

La semaine passée, le chef d'essai lui avait demandé de regarder s'il existait une possibilité de piloter le pantographe de la locomotive menée depuis la locomotive menante, en l'absence de deuxième conducteur. Le lundi 22 juillet 2024 au matin avant le départ, il ne parvient toutefois pas à opérer la télécommande depuis la locomotive menante. Il connaît une autre solution, qu'il a déjà réalisée lors d'autres essais, mais cette solution nécessite de tirer un câble Ethernet entre les deux locomotives et le câble dont il dispose n'est pas assez long.

La marche d'essai part à 12 h 40, une locomotive en unité simple et l'autre en remorque.

À Mulhouse-Nord-triage, afin de pouvoir mettre en œuvre la télécommande du pantographe de la locomotive menée, l'ingénieur de mesure pantographe propose d'utiliser un câble Ethernet long dont il dispose dans le matériel prévu pour les essais. Le câble doit relier l'ordinateur de l'ingénieur d'Alstom qui serait en cabine 2 de la locomotive menante 188 003 à un connecteur sur le tableau de bord de la cabine 2 de la locomotive menée 188 002 (configuration F1). Il faut vérifier que la longueur de câble est suffisante. L'ingénieur Alstom est alors positionné en cabine 2 de la locomotive 188 002, au niveau du branchement du câble au connecteur sur le tableau de bord, tandis que l'ingénieur DB Systemtechnik tire le câble à l'extérieur vers l'autre locomotive. Mais le câble est trop court. La solution est abandonnée.

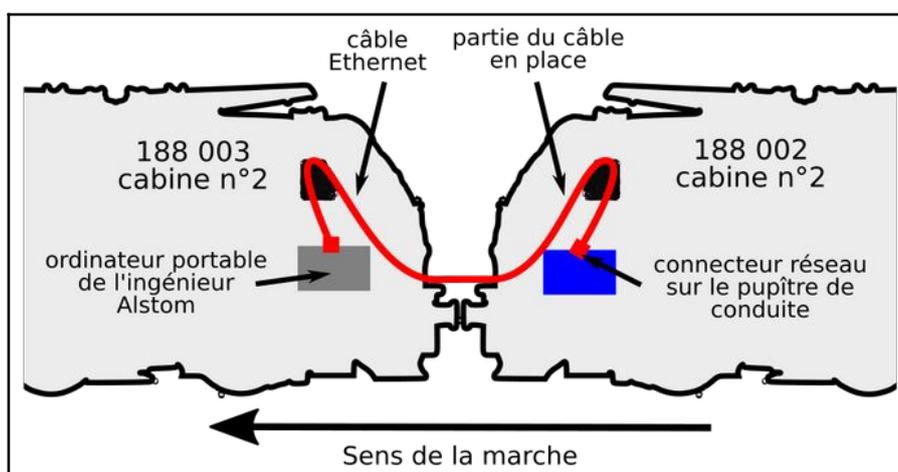


Figure 11 : branchement envisagé du câble Ethernet

Une manœuvre est effectuée avant le départ. L'ingénieur Alstom reste dans la locomotive pendant cette manœuvre et jusqu'au départ.

Le train d'essai repart en marche d'essai vers Belfort avec une locomotive en unité simple et l'autre en remorque. Pendant le parcours, l'ingénieur d'Alstom intervient une fois alors que le pantographe retombe et s'isole après le passage de la section de séparation. À cette occasion, il se rend en cabine 2 avant auprès du conducteur pour débloquer le pantographe, puis il retourne en cabine 1 arrière.

De nouveau en ligne, au bout de quelques minutes, c'est l'accident. Il n'en est pas un témoin direct. Il observe une alarme incendie sur le tableau de bord qu'il associe à la présence de fumées en cabine avant, plus qu'à un réel incendie.

L'ingénieur de mesure pantographe de DB Systemtechnik

L'ingénieur de mesure était en charge de l'acquisition des mesures sur les pantographes sur le train d'essai. Il parle l'allemand, le français et l'anglais.

Lundi 22 juillet 2024, il y a une première marche d'essai jusqu'à Mulhouse-Nord-triage. Comme il n'y avait pas de deuxième conducteur, l'essai n'a pu avoir lieu en unité double. À l'arrêt à Mulhouse-Nord-triage, l'ingénieur d'Alstom propose de tenter une solution de télécommande en reliant les locomotives par un câble Ethernet passant par les fenêtres des locomotives, mais il ne dispose pas d'un câble assez long. L'ingénieur d'Alstom demande alors à l'ingénieur de mesure pantographe s'il dispose d'un câble Ethernet plus long. Ce dernier en trouve un dans ses outils. L'ingénieur d'Alstom passe alors ce câble par la fenêtre de la locomotive 188 002 depuis la cabine 2, tandis que l'ingénieur de mesure le tire à l'extérieur vers la cabine de l'autre locomotive. L'ingénieur de mesure s'aperçoit que le câble est trop court. Il se demande s'il n'y aurait pas une possibilité de connecter deux câbles entre eux, mais il n'y a plus vraiment le temps d'explorer cette option. L'essai s'effectuera en unité simple et les locomotives doivent manœuvrer pour cela. Ils pensent alors rechercher après les manœuvres d'autres solutions.

Dans l'immédiat, l'ingénieur de mesure branche l'extrémité extérieure du câble Ethernet dans un connecteur disposé sur le coupleur des deux locomotives, sans aucune autre fixation, et de manière provisoire le temps de la manœuvre.

Pris ensuite par la préparation du départ, personne ne se préoccupe du câble, ni à l'intérieur, ni à l'extérieur de la locomotive. Il est clair a posteriori pour l'ingénieur de mesure, que le câble n'était ni préparé, ni fixé dans les règles de l'art pour un départ en ligne. Il n'y avait ni fixation par scotch, ni maintien par serre-câble.

Lorsqu'ils partent pour la marche d'essai, il est en cabine 1 arrière de la motrice. Au moment de l'accident, il entend une explosion. Le système de communication audio et vidéo avec la cabine avant se coupe. Il ressent un freinage d'urgence et voit le pantographe descendre à la caméra. Le conducteur vient alors dire qu'il y a un gros problème et celui-ci repart avec le chef d'essai en cabine avant.

Le dirigeant qualifié du service de conduite (DQSC)

Il s'agit de l'agent électrisé lors de l'accident. Il travaille chez Europorte.

Le matin de l'accident, avant la première marche d'essai, des manipulations sont effectuées en cabine au pupitre pour tenter de lever le pantographe de la locomotive menée depuis la locomotive menante. Elles sont sans succès. Le chef d'essai décide alors de réaliser l'essai avec la locomotive 188 002 en engin moteur en tête, et l'autre locomotive en véhicule.

À l'arrivée à Mulhouse, le DQSC ne quitte pas la cabine de conduite (la n° 1) dans un premier temps. Il y reste avec le conducteur et prend sa pause déjeuner. Il se souvient qu'on lui a demandé s'il possédait un long câble Ethernet, ce qui n'était pas le cas. Une heure avant l'heure de départ prévue (soit vers 14 h 20), le chef d'essai annonce que le départ s'effectuera dans la configuration avec un engin moteur et une machine en véhicule. Cela nécessite un tête-à-queue des locomotives. La manœuvre est lancée immédiatement et prend environ 45 minutes. Pendant la manœuvre, lui et le conducteur changent de cabine pour aller en cabine 2. Le départ s'effectue à l'heure prévue de 15 h 20.

Pendant la marche d'essai, il est assis à gauche du conducteur dans un fauteuil proche de la cloison latérale de la cabine. Il suit avec attention les différentes séquences de la fiche de marche d'essai. Au passage de la gare de Zillisheim, son attention est

concentrée sur l'approche du point de mesure de soulèvement caténaire qui se situe dans moins de 2 km et qui doit être passé à 100 km/h pour que l'essai soit valable.

Il y a de nombreux câbles électriques, installés pour les besoins de l'essai, qui l'entourent : câbles pour l'interphonie et les caméras, câbles pour l'instrumentation, multi-prise d'alimentation des appareils et des ordinateurs. Un câble Ethernet proche de sa jambe gauche se met à grésiller. Le câble pend de la fenêtre et descend jusqu'à environ 30 cm du plancher. Il souhaite le repousser vers l'arrière pour ne pas être dérangé à l'approche du point de mesure. Comme celui-ci grésille, il n'ose pas le toucher pour le repousser de la main. Il se lève contourne le fauteuil en se tenant à celui-ci, et, se disant qu'il ne s'agit que d'un câble basse tension de 12 V, il repousse le câble vers l'arrière avec son pied droit.

À cet instant, il est projeté. A posteriori, il attribue son éjection à une contraction réflexe de ses muscles du fait d'une forte décharge électrique reçue. Il ne perd pas conscience mais ses vêtements prennent feu, principalement sa chaussure droite et son tee-shirt à manches longues. Ses collègues viennent à son secours avant que les pompiers n'arrivent.

Il subit des blessures graves, qui résultent plus de brûlures que d'une électrisation. A posteriori, il comprend que le câble Ethernet a eu un arc électrique avec la cabine au moment où il le repoussait. Cet arc lui a procuré un choc électrique et a enflammé ses vêtements. Sa convalescence a duré quelques mois. Il a repris le travail, dans un premier temps à temps partiel, puis à temps complet à partir de janvier 2025.

3.2.2 - La synthèse des configurations du train pour la journée

La journée du 22 juillet prévoyait initialement deux marches d'essai en unité double.

La configuration initiale de départ à Belfort est la configuration « F1 » en unité double. La locomotive avant est la 188 002. Le conducteur et le DQSC sont dans la cabine avant n°1. La locomotive menée est la 188 003. Les deux pantographes sont à la caténaire.

En l'absence de deuxième conducteur pour manœuvrer le pantographe de la locomotive menée en cours de mission, et du fait de l'impossibilité de manipuler celui-ci depuis la locomotive menante, la configuration est abandonnée et remplacée par une configuration « C1 » en unité simple (voir figure 12 ci-dessous). La motrice est la 188 002. Le conducteur et le DQSC sont toujours dans la cabine avant n°1. La 188 003 est en véhicule. Aucune manœuvre n'était nécessaire pour passer dans cette configuration.

Arrivés à Mulhouse-Nord-triage, la configuration prévue pour la marche suivante était la configuration « E1 » en unité double. La locomotive avant est la 188 003. Le conducteur et le DQSC sont dans la cabine avant n°1 de cette locomotive. La locomotive menée est la 188 002. Les deux pantographes sont à la caténaire. Aucune manœuvre n'est nécessaire pour passer dans cette configuration, seul un changement de sens est réalisé.

Toutefois en l'absence de deuxième conducteur le pantographe de la locomotive menée ne peut être manipulé. Le chef d'essai accepte alors que soit regardée une solution suggérée par l'ingénieur d'Alstom, de télé-commander ce pantographe depuis la locomotive menante par un câble Ethernet reliant les deux locomotives (en bleu sur la figure 12). Cette solution permettrait de maintenir la configuration prévue et d'éviter une manœuvre en gare.

Mais l'impossibilité de réaliser le raccordement, car le câble est trop court, conduit le chef d'essai à abandonner la configuration et à la remplacer par une configuration « D1 » en unité simple. La motrice est la 188 002. Le conducteur et le DQSC sont dans la cabine avant n°2. La 188 003 est en véhicule. Cette configuration nécessite au préalable de faire une manœuvre d'inversion de l'ordre des deux locomotives, qui est réalisée avant départ. Le câble pré-monté en cabine 2 de la 188 002 reste en l'état de sa tentative de pose.

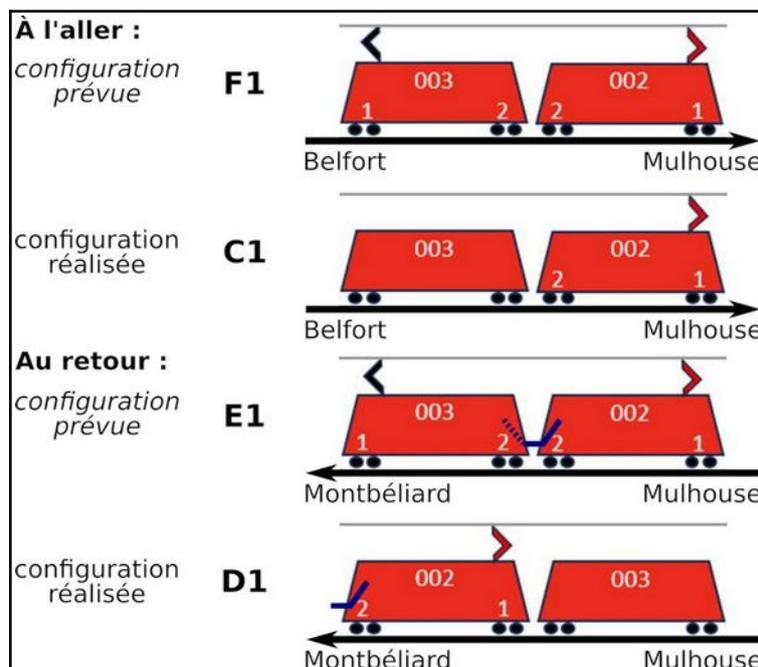


Figure 12 : configurations prévues et réalisées le 22 juillet 2024

3.2.3 - La reconstitution du branchement du câble Ethernet

Le BEA-TT a identifié, avec les opérateurs présents le 22 juillet, les branchements du câble Ethernet, tels qu'ils ont d'abord été imaginés et ensuite réalisés.

Dans la situation projetée, le câble Ethernet était prévu d'être raccordé par l'ingénieur Alstom à l'intérieur de la cabine 2 de la locomotive 188 002 à un connecteur disposé sur le tableau de bord (voir figure 11). Ce connecteur est visualisé sur la figure 13 (encart en bas à droite).

Si le câble avait été assez long, il aurait été raccordé à un ordinateur portable disposé sur le tableau de bord de la locomotive 188 003. L'ordinateur est aussi visible sur la figure 13, à ceci près que sur la photo, connecteur et ordinateur sont photographiés sur la même vue alors qu'ils auraient été dans deux cabines en vis-à-vis.



Figure 13 : situation de l'ordinateur et de branchement du câble Ethernet en cabine de conduite

Concernant la situation réalisée, le câble Ethernet de commande du pantographe a été branché à l'extérieur par l'ingénieur de mesure pantographe « dans un connecteur disposé sur le coupleur des deux locomotives, sans aucune autre fixation ». Ce branchement était voulu comme provisoire devant l'urgence à manœuvrer au moment où il l'a fait. La figure 14 visualise la fiche de branchement extérieure à l'avant de la locomotive. On peut aisément comprendre que la force exercée par la traînée aérodynamique du câble ait pu arracher le connecteur de la fiche, lorsque en ligne le convoi a atteint 100 km/h.

À l'intérieur de la cabine, l'extrémité du câble Ethernet a été laissée libre, arrivant à hauteur de 30 cm au-dessus du plancher.

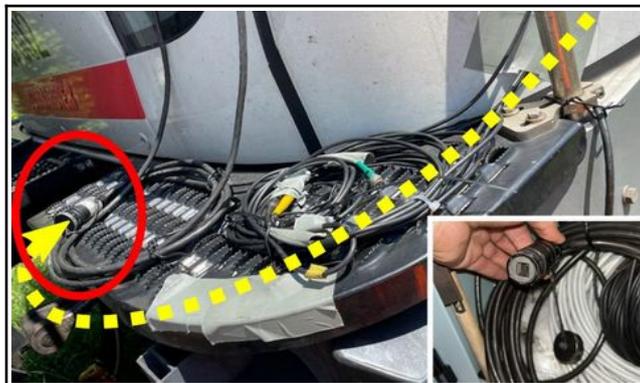


Figure 14 : branchement du câble Ethernet à l'extérieur de la locomotive et exemple de fiche correspondante (en bas à droite)

3.2.4 - Le dépouillement de l'enregistrement des paramètres de conduite

La locomotive TRAXX MS 3 est dotée d'un système enregistreur des paramètres de conduite de type TRU-NG, du fournisseur Logiplus. L'enregistrement a été exploité. La figure ci-dessous donne une transcription graphique des données de vitesse et de haute tension. L'extrait du listing des données brutes est fourni en annexe 3.

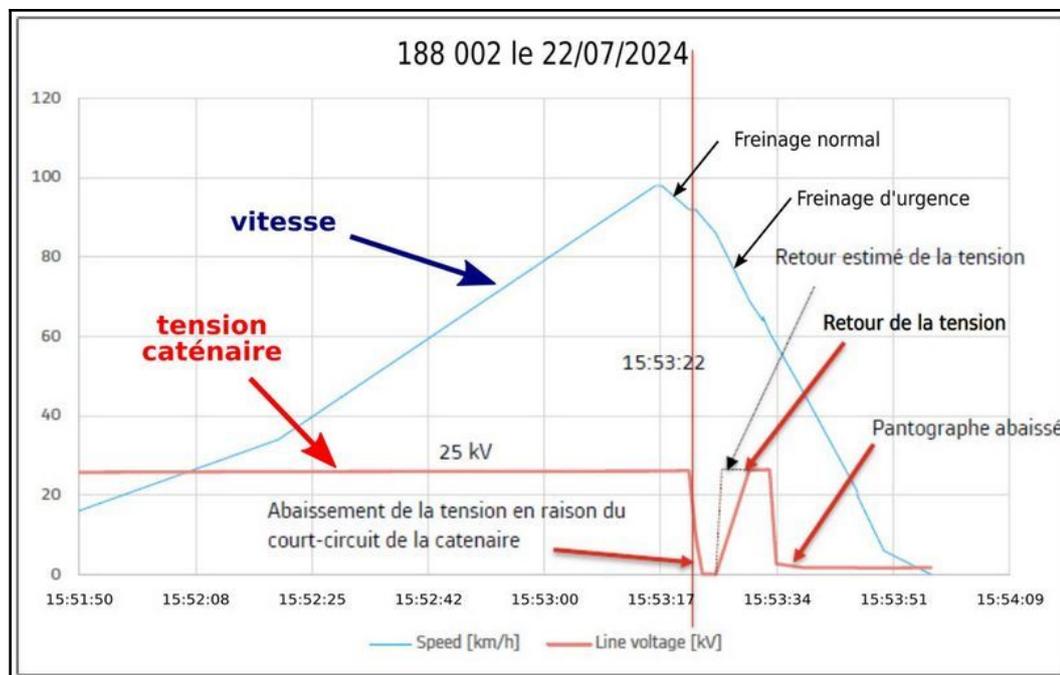


Figure 15 : données de la locomotive lors de l'accident

L'interprétation des données permet de factueliser les évènements suivants :

- 15 h 50 min 24 s : à l'arrêt, le pantographe est relevé. Ce point correspond au point d'arrêt de la locomotive après la section de séparation du PK 486,55.
- 15 h 50 min 41 s : la locomotive est alimentée par la tension de la caténaire.
- 15 h 51 min 12 s : le train se met en mouvement.
- de 15 h 51 min 12 s à 15 h 53 min 10 s : le conducteur a le manipulateur de traction/freinage en position traction, et monte en vitesse en continu.
- 15 h 53 min 16 s – 98 km/h : le conducteur met le robinet de frein en position freinage.
- 15 h 53 min 22 s – 92 km/h : la synchronisation avec la fréquence de la caténaire est perdue. La haute tension s'abaisse de 26,2 kV à 160 V.

Ce moment correspond à l'amorçage du câble Ethernet sur la haute tension en toiture et à une disjonction à la sous-station d'alimentation électrique (suivie d'un ré-enclenchement automatique).

- 15 h 53 min 25 s – 86 km/h : le frein d'urgence est actif.
- 15 h 53 min 32 s : il y a une détection de fumée en cabine.
- 15 h 53 min 32 s – 64 km/h : le conducteur abaisse le pantographe.
- 15 h 53 min 55 s : le train s'arrête au PK 483,1.

Ce déroulé des évènements est cohérent avec le témoignage du conducteur au détail près que le freinage a été déclenché en deux temps : d'abord un freinage de service à l'apparition des grésillements (à 15 h 53 min 16 s), puis le freinage d'urgence après l'amorçage du câble Ethernet (à 15 h 53 min 25 s).

3.2.5 - Le dépouillement des enregistrements vidéos en cabine et en toiture

La cabine de conduite est équipée de deux caméras : l'une est orientée sur la voie et l'autre sur le pupitre de conduite. Les vues en résultant sont illustrées sur la figure 16.



Figure 16 : vues des caméras cabine

S'ajoute à ces deux caméras, celle qui est intégrée aux instruments de mesure déployés en toiture et qui comprennent deux capteurs d'arcs [A] (voir figure 17) pour la mesure du taux d'arc, une caméra vidéo [B] et un projecteur [(C)]. La caméra [B] filme le pantographe de captage, qui est le n° 1 (voir la capture vidéo en figure 18). À noter que lors de la marche de l'accident, ce pantographe est situé à l'arrière de la 188 002.

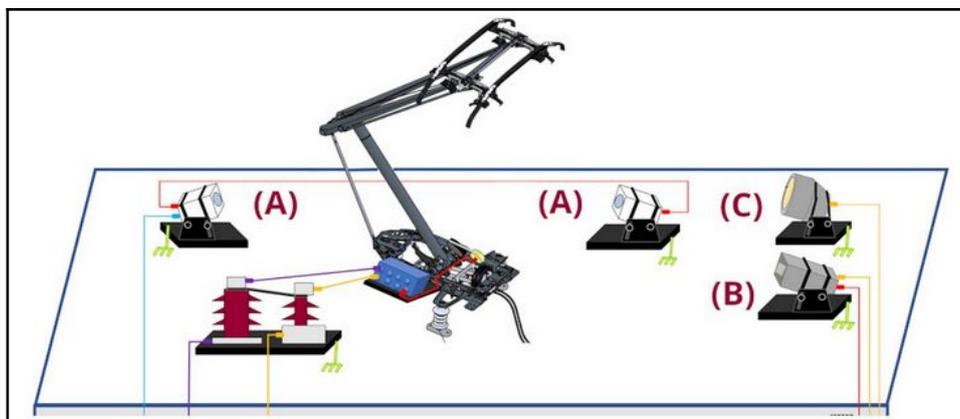


Figure 17 : instrumentation en toiture liée au pantographe n° 1

Toutes les caméras étaient actives et ont enregistré la marche d'essai. Les échanges en phonie en inter-cabine, entre le DQSC en cabine avant et le chef d'essai en cabine arrière, sont également enregistrés. Nous présentons ci-après une synthèse des événements dans ces enregistrements.

L'enregistrement vidéo du pantographe et l'enregistrement audio débutent au faisceau de Mulhouse-Nord peu avant 15 h. La manœuvre de placement de la locomotive 188 002 devant la 188 003 est en cours.

En fin de manœuvre, à 15 h 08, les agents échangent de cabine : le conducteur et le DQSC viennent alors dans la cabine n° 2 en tête de la locomotive de tête, et le chef d'essai avec trois opérateurs de mesure rejoignent la cabine n° 1 en queue de la locomotive de tête.

Le DQSC et le chef d'essai révisent ensemble la marche, tandis que l'attelage des locomotives est effectué par le conducteur à 15 h 14. Après avoir attendu que l'ingénieur de mesure pantographe, qui était dehors, remonte en cabine n° 1, le conducteur s'annonce au poste et demande le départ. L'ouverture lui est donnée rapidement, le train part à 15 h 20, soit à l'horaire prévu. L'enregistrement vidéo de la cabine (pupitre de conduite et voie) pour la marche d'essai démarre à ce moment.

Le chef d'essai apporte à l'équipe des informations concernant le soulèvement de la caténaire au passage du pantographe tel qu'il a été mesuré sur la précédente marche. Le train fait ensuite un arrêt de dix minutes (jusqu'à 15 h 46) après le raccordement de « Dornach », au signal avant l'insertion sur la ligne de Belfort. Il y a pendant ce temps quelques échanges concernant l'exacte localisation du convoi sur la ligne. Ils voient à l'arrêt en bord de voie un panneau de point kilométrique pour initialiser le point zéro des mesures, mais celui-ci est illisible. Un autre lisible sera trouvé un peu plus loin en ligne au PK 488.

Une fois le signal ouvert, le train monte en vitesse et passe la section de séparation, pantographe baissé. Il est alors subitement arrêté à 15 h 49 du fait du pantographe qui s'est ré-abaisé après la remontée qui a suivi la section.

Le train repart 2 minutes après. Il accélère et passe la gare de Flaxlanden. Il passe ensuite la gare de Zillisheim. Au passage du PN 9 juste en sortie de gare (PK 484,04), des grésillements forts sont audibles sur l'enregistrement. Ils commencent à 15 h 53 min 08 s. Le conducteur s'exclame 7 secondes après « ouh là ! » et il actionne immédiatement le freinage d'urgence (15 h 53 min 15 s). Le train est à ce moment au PK 483,74, car il est une centaine de mètres avant le signal S 483,6 situé au PK 483,64 qui est visible et pris à revers. Puis les enregistrements vidéos en cabine ainsi que audio sont coupés 6 secondes plus tard, à 15 h 53 min 21 s.

La vidéo du pantographe montre à 15 h 53 min 23 s, 2 s après, 50 m après le passage du signal S 483,6, soit au PK 483,59 (PK 483,64 — 0,050 km), un micro dégagement de fumée au niveau du point de contact entre le pantographe et la ligne aérienne, simultanément à une explosion au niveau de la toiture à gauche en avant du pantographe (voir figure 18). L'explosion dégage une fumée épaisse. Le pantographe descend et reste baissé jusqu'à la fin de l'enregistrement.



Figure 18 : extraits vidéos de la caméra pantographe à l'explosion de 15 h 53 min 24 s (à 2/10^e s d'écart)

L'exploitation de ces enregistrements croisés à ceux des données de la locomotive permet de fournir précisément l'enchaînement de l'accident électrique :

- grésillements à 15 h 53 min 08 s,
- premier freinage à 15 h 53 min 15 s,
- amorçage avec explosion à 15 h 53 min 23 s,
- freinage d'urgence à 15 h 53 min 25 s.

3.2.6 - Les dommages matériels causés par l'amorçage électrique

Il n'a pas été constaté de dommage à la caténaire. Ceci est normal car, comme nous le verrons plus loin, le câble Ethernet n'a pas été en contact avec la caténaire.

La locomotive 188 002 a fait l'objet d'une inspection détaillée à la suite de l'accident. Les dommages subis se situent au niveau de la cabine de conduite n° 2 et en toiture. Les électroniques de contrôle de la locomotive ne sont pas touchés. Les dommages sont les suivants :

- Pour l'intérieur de la **cabine de conduite n° 2** (voir figure 19) :
 - des traces de suie et de cendres sur les revêtements en fibre de verre de la paroi latérale gauche sous la vitre, ainsi que sur la partie de pupitre de conduite adjacente. Elles ont nécessité un nettoyage ;
 - des éclaboussures de cuivre et des traces de brûlure sur la vitre et son pourtour, ayant nécessité leur remplacement.

Ces impacts résultent d'arcs électriques entre le câble Ethernet mis à un haut potentiel électrique et la paroi de la cabine.



➤ *Figure 19 : les dommages intérieurs à la cabine de conduite*

- Pour l'**extérieur de la locomotive** (voir figure 20) :
 - des traces de brûlure sur l'extérieur de la porte en haut à droite ;
 - des traces d'arc électrique en toiture sur les couches de peinture de finition et le revêtement antidérapant de la structure de toit en extrémité avant gauche. Elles ont nécessité un nettoyage et des retouches ;
 - des traces d'arc électrique sur la corne d'extrémité et la tête du pantographe n° 4 (25 kV D-A-NL) à gauche. Elles ont nécessité un nettoyage.

Les impacts sur la porte, la toiture et le pantographe résultent d'arcs électriques avec le câble Ethernet, mis à un haut potentiel.



Figure 20 : les dommages à la porte (à gauche) et en toiture et au pantographe (à droite)

➤ Concernant le **câble Ethernet** :

Le câble est resté en place dans sa partie passant par le-dessus de la fenêtre. Il est sectionné à hauteur de la fenêtre côté intérieur, comme côté extérieur. Cette partie de câble présente plusieurs éclatements (voir figure 21).



Figure 21 : vue extérieure (à gauche) et vue intérieure (à droite) du câble Ethernet au passage de la fenêtre

Les restes du câble Ethernet qui se trouvaient en cabine de conduite ont pu être rassemblés. Le câble est détruit par le passage du courant de haute tension. Il présente plusieurs éclatements, signes d'amorçages avec la locomotive (voir figure 22).

L'énergie d'amorçage électrique s'est ainsi répartie entre les nombreux points de contacts reliés par le câble Ethernet : pantographe, toiture, porte, revêtement intérieur de cabine, y compris l'agent électrisé.



Figure 22 : restes du câble Ethernet en cabine de conduite

La mise en correspondance du morceau de câble Ethernet avec les traces de suie et de brûlure à l'intérieur de la cabine permet de confirmer que lors de l'accident, le câble descendait de la fenêtre vers le plancher de la cabine (figure 23 à gauche).

L'alignement des traces de brûlure extérieures, sur la porte, la toiture et le pantographe, permet de reconstruire le positionnement du câble Ethernet à l'extérieur au moment de l'accident (figure 23 à droite). Celui-ci s'est démis de son connecteur à l'avant de la cabine pour monter librement vers la toiture.

Le pantographe n° 4 était baissé pendant le trajet. Toutefois, il était au potentiel de 25 kV par la ligne de toiture qui relie électriquement tous les pantographes, sur cette locomotive. Les traces d'arc électrique retrouvées sur sa corne d'extrémité et sa tête (voir figure 20) attestent que c'est un contact avec ce pantographe qui a alimenté le câble Ethernet en haute tension.

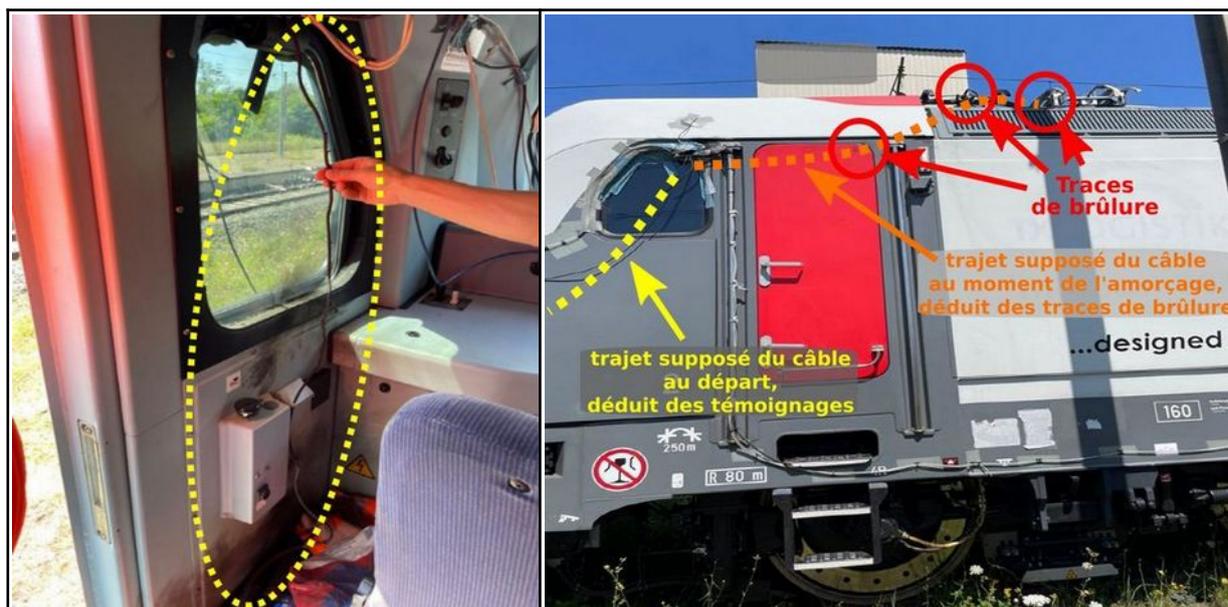


Figure 23 : le trajet intérieur (à gauche) et extérieur (à droite) du câble Ethernet lors de l'accident

Enfin, le BEA-TT a examiné la nature des fixations des autres câbles posés sur la locomotive pour l'instrumentation.

Globalement, ceux-ci sont tenus par des scotchs régulièrement disposés et à chaque fois dédoublés, ainsi que par des serre-câbles accrochés aux parties fixe de la locomotive. Ce mode de fixation est de nature à assurer une tenue correcte des câbles. Toutefois, un câble sortant de la même fenêtre que le câble Ethernet a une attache plus lâche (voir figure 24 à droite et figure 21 à gauche), attestant qu'un effort de plus grand soin serait nécessaire.

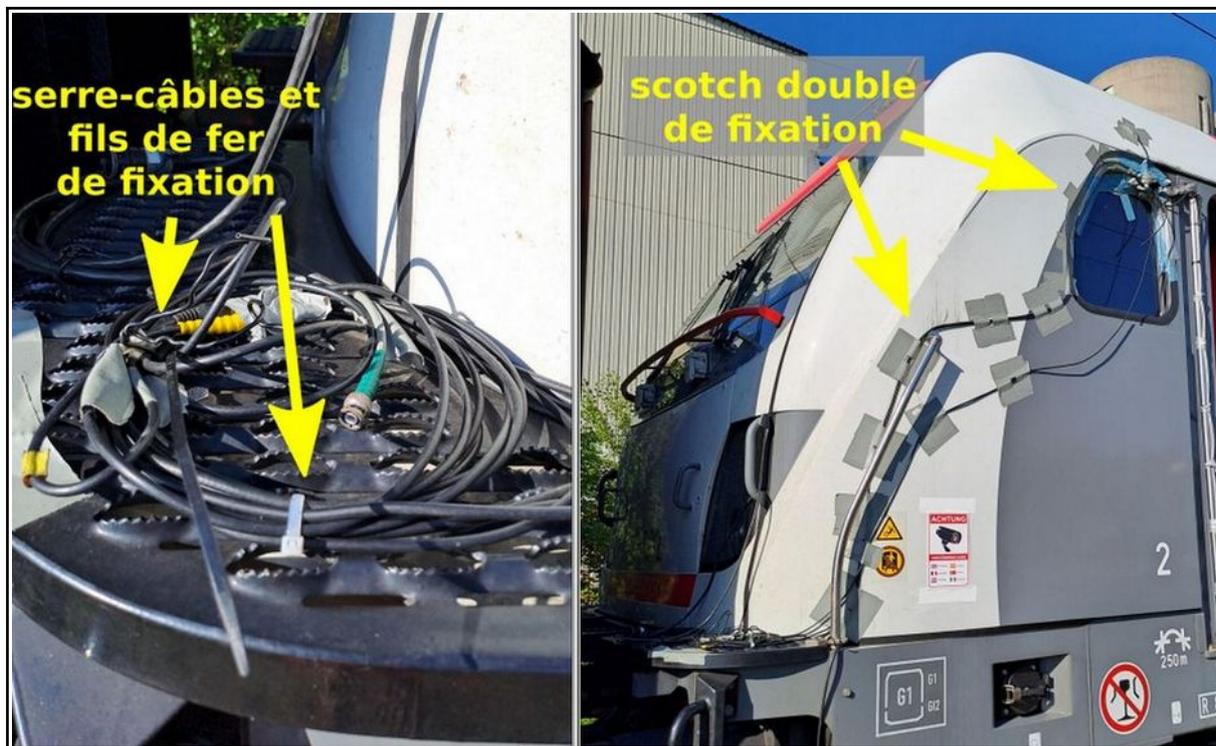


Figure 24 : illustration de la fixation des câbles d'instrumentation temporaires

3.2.7 - Les incidents qui ont émaillé la campagne d'essai avant l'accident

Nous décrivons ci-après les incidents et aléas qui ont émaillé la campagne d'essai avant l'accident tels que le BEA-TT a pu les reconstituer à partir des témoignages et des documents opérationnels recueillis. La liste commence par les aléas de la campagne sous tension 25 kV, au début juillet. Elle est complétée d'un incident de la campagne 1 500 V, un mois et demi plus tôt.

Semaine du 1^{er} au 5 juillet : changement du site de garage

Le 1^{er} juillet, deux semaines avant le début des essais sous tension 25 kV, l'entreprise Europorte est informée par le gestionnaire d'infrastructure que le stationnement n'est pas possible à Mulhouse où il était initialement prévu. Une nouvelle solution de stationnement à Belfort est étudiée.

Semaine du 8 au 12 juillet : changement du site de garage

Le 8 juillet, le gestionnaire d'infrastructure informe Europorte qu'un transport exceptionnel de turbine qui devait quitter Belfort a connu un incident de rupture de conduite générale. Trois voies sont immobilisées. DB Systemtechnik demande une extension de DAUTE à SNCF Réseau et à l'EPSF pour stationnement à Montbéliard ou Bantzenheim. Le site de garage du train d'essai est finalement déplacé à Altkirch.

Lundi 15 juillet : incident électrique et nouveau changement du site de garage

Le matin de la première journée de campagne, le lundi 15 juillet, a eu lieu l'acheminement à Altkirch du convoi d'essai en marchandise roulante. La traction était assurée par une locomotive Prima d'Europorte.

À l'arrivée à Altkirch, vers 13 h lors de la manœuvre du convoi, la locomotive Prima d'Europorte amorce son pantographe avec la végétation environnante. Celle-ci par défaut d'élagage engageait le gabarit électrique (voir la figure 25 qui donne une idée de l'état de la voie de service allouée).



Figure 25 : vue de l'immobilisation de la locomotive Prima suite à amorçage de son pantographe

La campagne d'essais est momentanément interrompue. Un nouveau site de garage situé à Montbéliard est choisi. La campagne est réorganisée à partir de ce site. Les journées du 16 et 17 sont consacrées à la mise en route de la nouvelle organisation (arrivée d'un engin thermique le 16 ; inspection du matériel et remplacement archet le 17 ; évacuation du train vers Montbéliard le 17 au soir).

Mercredi 17 juillet à Altkirch : vandalisme sur les voitures

En arrivant sur le site d'Altkirch, le matin du 17 juillet, pour transférer le train d'essai vers Montbéliard, l'équipe d'essai constate que les voitures ont été vandalisées pendant la nuit, avec bris de vitres. Elles ne sont plus utilisables pour les essais, pour raison de sécurité. Seules les locomotives sont alors transférées à Montbéliard pour l'essai du lendemain. Dans l'immédiat, la campagne se poursuit avec uniquement deux locomotives.

Il est choisi de réparer immédiatement les voitures endommagées et de transférer ensuite toutes les voitures à Montbéliard pour une réutilisation dès que possible. L'acheminement peut se faire au mieux le lundi 22 juillet, en mobilisant l'un des deux conducteurs d'essai. C'est par affectation du deuxième conducteur à cette tâche qu'il n'y a eu qu'un seul conducteur disponible le 22 juillet pour les essais.

Jeudi 18 juillet : arrêts d'urgence « veille automatique » et « levé pantographe »

La journée du 18 juillet permet de réaliser une marche d'essai A/R entre Montbéliard / Mulhouse / Belfort en « unité simple » sans voiture en véhicule, le matin. Il s'agit de la première marche de la campagne 25 kV. Les deux locomotives 188 002 et 188 003 sont attelées, la première en motrice et la seconde en véhicule (configuration C1 à l'aller et D1 au retour après tête-à-queue). L'essai est en unité simple. La vitesse cible est 100 km/h.

Lors des deux marches d'essai, il se produit **4 freinages d'urgence** avec arrêt par activation de la veille automatique (dispositif « homme-mort »). Identifié d'abord comme une absence d'avertissement sonore, il s'avère a posteriori que le conducteur d'essai n'était pas habitué à la sonnerie de la locomotive TRAXX, plus discrète qu'à son habitude ni à la durée d'appui nécessaire pour acquiescer l'alarme. Ces arrêts se reproduiront à deux reprises le 22 juillet lors de la première marche aller.

Lors de l'essai du 18 juillet, un arrêt supplémentaire a eu pour cause l'**impossibilité de remonter le pantographe** après son abaissement en ligne. Le problème a été diagnostiqué à bord par l'ingénieur Alstom comme étant un temps de montée du pantographe trop long, qui activait une sécurité automatique abaissant le pantographe et le bloquant. L'ingénieur d'Alstom est intervenu pour réinitialiser la commande bloquée par la sécurité. Ce même problème s'est reproduit le 22 juillet, peu de temps avant l'accident, au passage de la section de séparation. Ce type de difficulté ne devrait normalement pas se produire en essai dans la mesure où les temps de montée pantographe sont validés en statique et confirmés par les avis d'expert préalablement aux essais en ligne.

Jeudi 18 juillet à Altkirch : panne de l'anti-enrayeur de la locomotive 188 002

Un autre A/R était programmé dans l'après-midi. Mais plusieurs problèmes sont intervenus pendant les manœuvres préparatoires à Belfort : alarmes KVB, ETCS, anti-enrayeur, etc. L'anti-enrayeur est déclaré en panne. L'essai de l'après-midi est annulé.

Une équipe de maintenance d'Alstom intervient pour traiter la panne, le lendemain vendredi 19 juillet à Belfort. Cette panne, connue d'Alstom, se traite par intervention sur l'informatique software de bord. Les essais initialement prévus ce jour-là sont annulés.

Conclusion intermédiaire

En synthèse de ces incidents, nous pouvons tirer les premiers enseignements suivants :

- Plusieurs incidents de bord perturbaient le bon déroulement des essais pendant les marches : on dénombre 4 arrêts par la Vacma, 1 arrêt pour anomalie de descente du pantographe et une panne bloquante sur la seule journée du jeudi 18 juillet.

Cette multiplication d'incidents a, à notre sens, pu amener les personnels en charge de l'essai à avoir une certaine crainte sur les aléas et sur l'avancement réel du déverminage des problèmes inhérents à la nouveauté du matériel.

- De nombreuses difficultés opérationnelles émaillaient le déroulement planifié des essais : on dénombre 3 changements de garage, un incident d'amorçage et un acte de vandalisme (qui sont toutes des problématiques en lien avec la fiabilité d'usage de l'infrastructure), depuis le démarrage de la campagne 25 kV une semaine plus tôt.

L'organisation des essais minutieusement préparée était vivement mise à mal, obligeant les équipes à réorganiser en dernière minute les opérations. Les opérations ne pouvaient guère plus s'envisager qu'au prisme du court terme, avec une grande difficulté de se projeter dans la durée.

Les incidences de ces difficultés, notamment en termes de sécurité, seront approfondies au chapitre 4.

L'incident caténaire du 5 juin aux Aubrais : perte de pantographes

L'incident remonte à la campagne d'essais sur le réseau 1 500 V qui s'est déroulée entre Les Aubrais (près d'Orléans) et Vierzon. L'incident est significatif et a induit plusieurs contraintes d'organisation pour la suite de la campagne, aussi avons-nous choisi de l'évoquer brièvement ici.

Le matin du 5 juin 2024, le train d'essai part du faisceau des Aubrais. Empruntant les aiguilles de sortie, le conducteur entend un bruit suspect et observe des mouvements anormaux du fil de contact. Il stoppe. Les deux pantographes levés de l'unité double sont arrachés. Suite à cela, les essais sont arrêtés et l'AUTE est temporairement suspendue. Les essais sous tension 1 500 V sont reprogrammés à fin août.

Les deux pantographes étaient en vis-à-vis sur les deux locomotives à la plus courte distance possible. Cela provoquait un important soulèvement du fil de contact du faisceau d'environ 25 cm. Il en résultait des différences de niveau entre les fils des deux voies au passage des aiguilles. Les pantographes ont « attrapé » le fil non soulevé. En conclusion, la configuration de deux locomotives attelées avec deux pantographes levés et rapprochés est ensuite interdite, dans l'attente d'une expertise plus complète non encore finalisée à la date de parution du présent rapport.

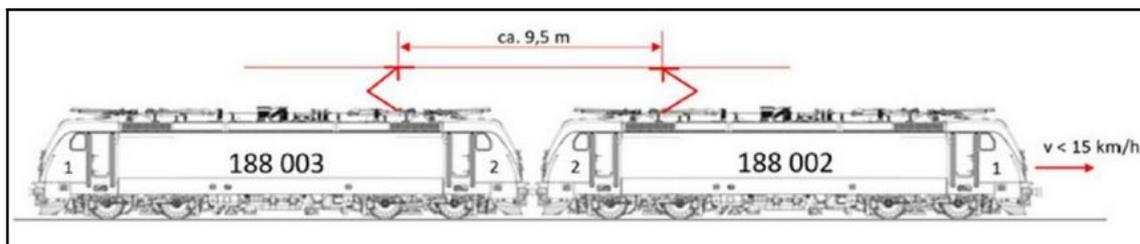


Figure 26 : configuration des pantographes lors de l'incident aux Aubrais

Cet incident a conduit à l'arrêt des essais 1 500 V et au retrait de l'AUTE pour ces essais. Il a bousculé le déroulement des essais tel qu'il était programmé à l'origine. Il a aussi apporté une contrainte d'organisation supplémentaire pour la suite des essais en unité double, nécessitant de prêter une attention particulière au placement relatif des deux locomotives pour éviter la configuration interdite, avec induction de manœuvres supplémentaires.

Cet incident reste symptomatique du climat qui entoure les essais de la TRAXX MS 3 : une longue préparation mise à mal (et même défaite ici) par des incidents mettant en difficulté l'équipe d'essai pour poursuivre la campagne.

3.3 - Le déroulement reconstitué des faits

Nous reprenons ci-après le déroulement chronologique des faits qui ont conduit à l'accident. Nous remontons un peu dans le passé par souci d'exhaustivité des faits indirectement contributifs.

- **2022 – 2023** : en 2022, Alstom engage un processus de demande d'autorisation de catégorie en France pour la nouvelle locomotive TRAXX 03 MS2. Alstom recrute DB SystemTechnik comme organise d'essai pour réaliser les essais préalables à la demande d'autorisation. Des premiers essais d'aptitude au shuntage sont autorisés à Plouaret (Finistère) en septembre 2023.
- **Mars – juin 2024** : une DAUTE est déposée le 15 mars auprès de l'EPSF pour effectuer des essais entre Les Aubrais et Vierzon sous tension 1 500 V. L'AUTE est délivrée par l'EPSF le 15 mai 2024. Les essais démarrent le 21 mai 2024.
- **5 juin 2024** : un incident d'arrachement de pantographes aux Aubrais contraint à arrêter les essais. L'EPSF suspend l'AUTE. Les essais sous tension 1 500 V sont reportés à août 2024. Après analyse de l'incident, des restrictions de configurations des locomotives en unité double sont prescrites.
- **Juin et début juillet 2024** : le 21 juin 2024, une nouvelle DAUTE est déposée pour les essais sous tension 25 kV entre Belfort et Mulhouse. L'AUTE est délivrée par l'EPSF le 11 juillet 2024. Le site de garage du train d'essai est prévu à Mulhouse. Mais en cours de semaine du 1 au 5 juillet, il migre à Belfort, puis suite à un incident de transport exceptionnel en gare de Belfort, SNCF Réseau déplace le site de garage à Altkirch.
- **Lundi 15 juillet** : Au matin, la campagne d'essais se prépare dans les temps avec l'acheminement du train d'essai en marchandise roulante tractée par une locomotive Prima d'Europorte. Vers 13 h, lors d'une manœuvre du convoi à Altkirch, la locomotive Prima amorce son pantographe avec de la végétation par défaut d'élagage sur la voie. La campagne d'essais est momentanément interrompue et réorganisée sur nouveau site de garage situé à Montbéliard.
- **Mercredi 17 juillet** : en arrivant sur le site d'Altkirch pour transférer le train d'essai, l'équipe d'essai constate que les voitures ont subi du vandalisme et ne sont plus utilisables pour les essais. Seules les locomotives sont alors transférées à Montbéliard pour un essai le lendemain.
- **Jeudi 18 juillet** : il est réalisé une marche d'essai Montbéliard / Mulhouse, puis Mulhouse / Belfort en « unité simple », le matin. C'est le premier A/R d'essai de la campagne 25 kV. Les deux locomotives 188 002 et 188 003 sont attelées, la première en motrice et la seconde en véhicule, en unité simple. La vitesse cible est 100 km/h. 5 arrêts se produisent pendant l'essai : 4 pour alarme Vacma et un pour mise en sécurité du pantographe suite à un temps de remontée trop long. Puis à 12 h, à Belfort, plusieurs problèmes surviennent pendant les manœuvres préparatoires à l'après-midi : alarmes KVB, ETCS, anti-enrayeur etc. L'anti-enrayeur est déclaré en panne. L'essai de l'après-midi est annulé.
- **Vendredi 19 juillet** : une équipe de maintenance d'Alstom intervient à Belfort pour traiter la panne de la locomotive. Cette panne, connue d'Alstom, se traite par simple intervention sur l'informatique software de bord. Mais, du fait d'une intervention tardive, les essais initialement prévus ce jour-là sont annulés.

À Altkirch, les voitures ont été réparées et sont prévues d'être envoyées lundi 22 juillet à Montbéliard, en mobilisant un des deux conducteurs d'essai. De ce fait un seul conducteur sera disponible le lundi 22 juillet pour les essais, contrairement à ce qui est décrit dans la DAUTE.

Le chef d'essai estime après analyse, que les risques à couvrir par les agents restent, lorsque ceux-ci sont installés sur une seule locomotive avec un seul conducteur, maîtrisés. Il demande à Alstom, pour maintenir un A/R d'essai, de regarder la solution technique permettant de déporter le pilotage du pantographe de la locomotive menée dans la locomotive menante par utilisation du mode « pilote ».

➤ **Lundi 22 juillet** : il a été défini le vendredi d'effectuer un A/R d'essais jusqu'à Mulhouse avec retour à Montbéliard (2 A/R sur le programme initial). L'essai est en unité double bien qu'un seul conducteur soit disponible.

- **À 9 h** : Les équipes arrivent à Belfort. Les opérations de préparation pour la première marche prévue à 12 h 40 se déroulent normalement.
- **À 12 h** : Le briefing d'avant départ se tient au pied de la locomotive. Les huit membres de l'équipage y sont présents. Au cours du briefing, le chef d'essai s'enquiert si la télécommande du pantographe de la locomotive menée depuis la locomotive menante est opérante. Après une tentative de télécommande non concluante, le chef d'essai décide de revenir à un essai en unité simple.
- **À 12 h 40** : Le train d'essai part. La marche d'essai jusqu'à Mulhouse-Nord-triage se déroule dans des conditions satisfaisantes. Le trajet connaît néanmoins deux arrêts pour prise en charge par la veille automatique et un pour retombée du pantographe pour mise en sécurité. L'arrivée s'effectue à 13 h 42.

Le chef d'essai échange à nouveau avec l'équipe sur la mise en œuvre d'un essai en unité double. Il s'avère qu'une solution de télécommande du pantographe par un câble Ethernet serait possible. Le chef d'essai accepte que cette nouvelle solution soit regardée. L'ingénieur Alstom reste en cabine de la locomotive 188 002 au niveau du branchement du câble Ethernet sur le pupitre de conduite et l'ingénieur de mesure de DB Systemtechnik tente à l'extérieur de tirer le câble vers la locomotive 188 003.

- **À 14 h 20** : le chef d'essai comprend que les ingénieurs n'aboutissent pas. Le câble disponible est en effet trop court. Il prend la décision de poursuivre avec un essai en unité simple. Il ne recherche pas à voir le montage qui était en train d'être réalisé.

Le passage en unité simple nécessite une manœuvre de la locomotive 188 002 pour se placer en motrice. Cette manœuvre est lancée sans délai. Juste avant, l'ingénieur de mesure pantographe branche l'extrémité extérieure du câble Ethernet qu'il tentait de monter, dans un connecteur disposé à l'avant de la locomotive 188 002, sans aucune autre fixation. Hormis l'ingénieur de mesure pantographe, les 7 autres membres de l'équipage sont dans la locomotive qui manœuvre.

- **À 15 h 08** : la manœuvre se termine. La 188 002 a rejoint la 188 003. Le DQSC et le chef d'essai révisent ensemble la marche. Le raccordement des locomotives est terminé à 15 h 14.
- **À 15 h 20** : le train part, à l'horaire prévu. Personne ne se préoccupe du câble Ethernet resté dans l'état de sa tentative de pose.

Le convoi a une courte attente à l'entrée du raccordement de « Dornach », puis un arrêt de dix minutes à l'insertion sur la ligne de Belfort. Le convoi se remet en mouvement à 15 h 46.

- **À 15 h 49** : le train, monté en vitesse, est subitement arrêté pour retombée du pantographe suite à un temps de remontée trop long au passage de la section de séparation.
- **À 15 h 51** : Le train repart, passe la gare de Flaxlanden, accélère, atteint les 100 km/h. Il passe la gare de Zillisheim.
- **À 15 h 53 min 08 s** : au passage du PN 9 en sortie de gare, des grésillements se font entendre, sur le côté gauche de la cabine de conduite, à proximité immédiate du

DQSC. Au début le conducteur ne s'inquiète pas, mais cela prend de plus en plus d'importance.

Le câble Ethernet s'est détaché de son branchement à l'extérieur. Volant, il s'approche du pantographe n° 4 produisant de premiers effets électriques (grésillements et dégagement de chaleur).

- **À 15 h 53 min 15 s** : soupçonneux, le conducteur actionne le freinage normal.
- **À 15 h 53 min 23 s** : le DQSC pousse avec le pied l'extrémité du câble Ethernet qui pend dans la cabine et qui grésille. Une explosion se produit à l'extérieur à l'avant en toiture, sur la gauche du pantographe n° 4. Elle dégage une fumée épaisse. Le convoi est au PK 483,59.

Le câble Ethernet vient à cet instant de toucher le pantographe n° 4 et amorce. Le DQSC est électrisé et projeté derrière le siège du poste de conduite.

- **À 15 h 53 min 25 s** : le conducteur actionne le freinage d'urgence.
- **À 15 h 53 min 46 s** : réalisant que le DQSC est électrisé, le conducteur commande l'abaissement du pantographe.
- **À 15 h 53 min 55 s** : le convoi s'arrête. Le DQSC reprend un peu ses esprits, mais il est grièvement blessé. Son tee-shirt s'est enflammé. Une flammèche sort de la semelle d'une des chaussures de sécurité, que le conducteur éteint avec son pied. Le conducteur file alors vers la cabine arrière appeler à l'aide le chef d'essai.
- **À 15 h 59** : le conducteur avise le régulateur de Strasbourg de la situation, tandis que le chef d'essai appelle le service des secours. Les autres agents sont mis en sécurité sur la piste en bord de voie. Étant pompier volontaire, le conducteur effectue dans l'attente des secours les premiers gestes d'urgence, accompagné du chef d'essai.
- **À 16 h 37** : les pompiers arrivent à bord de la locomotive.
- **À 17 h 05** : les pompiers évacuent le blessé électrisé.
- **À 18 h 15** : le train est évacué par une locomotive de secours d'Europorte.
- **Le 31 juillet 2024**, l'AUTE est retirée par l'EPSF.

4 - L'analyse de l'accident

La description de l'accident présentée dans le chapitre précédent permet de comprendre la cause immédiate de l'accident : l'envol en ligne du câble Ethernet installé avant le départ et sa mise à haute tension par le pantographe avant en toiture. Le présent chapitre explore les facteurs systémiques sous-jacents qui ont conduit à une telle situation.

4.1 - Le cadre réglé d'organisation des essais

L'organisation des essais est une démarche longue et structurée, qui est cadrée par la réglementation européenne et française comme nous l'avons vu au § 3.1.2. Pour la nouvelle locomotive TRAXX 03 MS2, elle commence en 2022, quand Alstom engage un processus de demande d'autorisation de type en France. Pour ce faire, Alstom recrute DB SystemTechnik comme organisme d'essai, afin de réaliser les essais préalables à la demande d'autorisation. Quatre campagnes d'essais sont prévues (shuntage, mesures sous tension caténaire de 1 500 V continu, mesures sous tension caténaire de 25 kV alternatif et ETCS). Une gestion de projet structurée mobilise les acteurs via des réunions régulières, jusqu'à une par semaine.

Dans le processus global d'autorisation, la réalisation des essais sur le réseau ferré français est conditionné à une autorisation temporaire pour circulation d'essai délivrée par l'EPSF. Trois versions successives de demande d'autorisation temporaire d'essais (DAUTE) ont été déposées et discutées avec l'EPSF : la première en septembre 2023 (pour les essais d'aptitude au shuntage), la seconde en mai 2024 (essais en ligne sous tension de 1 500 V) et la troisième DAUTE en juillet 2024 (essais sous tension 25 kV). En préalable à l'autorisation, des échanges ont eu lieu avec le gestionnaire d'infrastructure national, SNCF Réseau, afin d'obtenir son avis préalable à la DAUTE. 45 points de questionnement sont ouverts et traités à cette occasion. SNCF Réseau est également sollicité pour l'attribution des capacités d'infrastructure nécessaires à chaque circulation d'essai, ainsi que la commande des facilités essentielles associées (garage, traction électrique, etc.). Les demandes de sillons et de garages s'effectuent 3 mois à l'avance.

Dans le cadre de la DAUTE, une analyse de risques doit être réalisée avec identification des mesures de couverture des risques identifiés. Cette analyse détaillée identifie les risques relatifs à de nombreux aspects des essais : la compatibilité avec les circuits de voie et avec l'infrastructure, l'interaction pantographe-caténaire, l'installation et l'utilisation d'instruments de mesure à bord du train, l'instrumentation disposée en toiture, l'état de la locomotive au cours des essais. Les risques environnementaux et ceux concernant les personnels sont également étudiés.

Les méthodes pour réaliser les essais sont formalisées et décrites :

- la DAUTE précise la nature et la finalité des essais, les itinéraires où se dérouleront les essais, les conditions de réalisations des essais avec le détail des diverses configurations de circulation, la répartition des rôles et responsabilités ;
- la fiche d'essai pour juillet et août 2024 quant aux essais de compatibilité pantographe et aux essais de compatibilité avec les circuits de voies, sous ligne 25 kV, reprend en détail les différents points des essais : l'heure et le lieu de rendez-vous, la procédure de démarrage de la locomotive, le briefing, la composition et les profils de configuration du convoi, les sillons autorisés, les équipements de protection, les vérifications à effectuer avant départ, les consignes, les participants, leurs rôles et leur répartition dans les cabines, les gestes réflexes ;
- la fiche descriptive de marche d'essai présente pour chaque date, départ et arrivée, dans une configuration donnée : le briefing de début de poste, le déroulé selon les points kilométriques (vitesses maximales, début et fin de zone d'essai, baissé

pantographe au sectionnement...) et elle doit être signée à l'issue de l'essai par le chef d'essai, le conducteur et le DQSC ; les spécifications internes d'Alstom sur les essais précisent les détails des mesures à effectuer, les configurations des locomotives et des pantographes, les pas des vitesses pour les tests.

Pour ces essais, nous observons qu'une équipe solide, et que nous évaluons comme compétente, est constituée, avec un chef d'essai et son binôme pouvant le suppléer, des conducteurs (trois agents réguliers), des DQSC (2 voire 3 possibles), une équipe de mesure, un ingénieur Alstom et son suppléant.

Le BEA-TT a participé à deux journées d'essais : l'une à Montbéliard en novembre 2024 et l'autre sur un aller-retour entre Les Aubrais et Vierzon en janvier 2025. Le BEA-TT a pu constater la préparation faite en amont avec l'envoi de la fiche d'essai, la vérification de la locomotive sur site, la survenue d'aléas (voitures pas en état pour circuler ou changement d'horaire de sillon), la préparation pour la collecte des mesures, la fixation des câbles et la bonne tenue du briefing avant départ (en français et en allemand ou anglais), ainsi que le formalisme des échanges au cours de la circulation d'essai. De façon globale, les deux journées en question se sont déroulées de manière structurée, dans un climat coopératif et professionnel. Compte-tenu du multilinguisme de plusieurs des participants, la langue n'est pas un obstacle à une bonne coordination.

En synthèse, les essais ont fait l'objet d'une préparation minutieuse élaborée sur de longs mois. Cette préparation est conforme aux règles de l'art et a été correctement et solidement instruite par les acteurs. Le professionnalisme mis en œuvre pour les essais n'est pas en cause.

Une telle préparation, déployée en qualité, permet d'anticiper, d'étudier et de stabiliser les méthodes d'essai avant les opérations. Elle évalue les risques et en assure la couverture. Pour le BEA-TT, cette manière de faire, et la réglementation qui la sous-tend, est de nature à minimiser les risques liés aux opérations afin de garantir la sécurité. **Elle doit être perpétuée.**

4.2 - Les multiples aléas mettant à mal l'organisation prévue

Le BEA-TT a recensé de nombreux aléas significatifs qui ont impacté le déroulement de la campagne d'essais. Ils sont récapitulés ci-après.

- Un incident de perte de pantographe en cours de campagne 1,5 kV se produit le 5 juin 2024.

Cet incident conduit à annuler et reporter la campagne, et il apporte une contrainte opérationnelle forte qui était d'interdire les configurations à pantographes en vis-à-vis, ainsi que de ne pas avoir deux pantographes levés simultanément sur voie de service. Pour les circulations en unité double, le deuxième pantographe devait être levé uniquement à l'approche de la zone d'essai.

Cette contrainte importante s'ajoutait à une autre contrainte opérationnelle forte liée à la non-autorisation de la locomotive 188 003 à assurer la traction en tête pour un problème d'interférence de ses moteurs de traction avec son système de KVB (voir § 3.1.5). Un mode très spécifique dit mode « pilote » avait été développé par Alstom pour effectuer les circulations en configuration E1 qui était la configuration initialement prévue pour la marche d'essai où s'est produit l'accident (finalement non mise en œuvre au profit de la configuration D1).

- De nombreux aléas de gestion des garages en début de campagne 25 kV surviennent (4 changements entre le 1er et le 15 juillet : Mulhouse, puis Belfort, puis Altkirch, puis Montbéliard). S'y ajoute une qualité de site de garage médiocre à Altkirch, où l'on déplore un incident d'amorçage par défaut d'élagage le 15 et un vandalisme le 17 juillet.

Les difficultés de garage ont conduit à la **perte de 2 ½ jours d'essais** (sur la première semaine de la campagne 25 kV, soit 4,5 jours d'essais).

- De nombreuses difficultés sur la locomotive se produisent en cours de circulation d'essai, liées au déverminage inhérent à une nouvelle série de locomotives. Sur la journée du 18 juillet (où a eu lieu un A/R), on dénombre : 5 arrêts incidentels en ligne (4 pour alarme Vacma et 1 pour alarme de temps de remontée du pantographe) et une panne invalidante d'anti-enrayage. Les arrêts incidentels se sont renouvelés le 22 juillet.

La panne a conduit à une **perte d'1 ½ jour d'essais** (sur la première semaine de la campagne 25 kV).

Nous nous interrogeons par ailleurs sur l'état des véhicules fournis pour les essais. Nous avons pu observer par une fois, lors d'une tournée de l'enquête qu'ils ne sont pas toujours dans des conditions optimales et ont alors nécessité une intervention par l'équipe d'essai puis une maintenance extérieure.

Le cumul de ces nombreux aléas d'exploitation ont induit un environnement de forte pression sur l'équipe d'essai, ainsi que sur les opérationnels assistant cette équipe en « back-office ». L'équipe a été contrainte de déprogrammer / reprogrammer plusieurs fois l'organisation. Sur la première semaine de campagne sous 25 kV, au lieu d'avoir des essais sur les 4,5 jours programmés, une seule demi-journée est réalisée. La perte de journée, ressource clef et coûteuse dans une campagne, induit une pression supplémentaire d'ordre financière et contractuelle. En effet, la charge de la perte financière reste à affecter au sein des parties, préoccupation qui reste ouverte et non réglée pour l'équipe d'essai dont ce n'est pas nécessairement le premier rôle.

Les nombreux aléas, et les remaniements qui en résultent, conduisent l'équipe d'essai à développer un **mode de fonctionnement hyper-adaptatif**. Une grande partie des paramètres opérationnels préalablement préparés sont battus en brèche et reconstruits en dernière minute à J-2 ou J-1 (programme d'essai, sillons, composition du train, affectation des conducteurs, etc.). Les acteurs éprouvent une grande difficulté à se projeter dans la durée. Compte-tenu des incertitudes sur la réussite des réorganisations, ils n'ont une vue sur la production qu'à deux jours, et encore si leurs hypothèses se concrétisent !

L'acquis de la qualité de préparation des opérations se détériore nettement, voire est aboli.

4.3 - La stratégie d'action de l'équipe en réponse aux aléas

En réponse aux difficultés opérationnelles posées par les aléas et les restrictions, des ouvertures sont trouvées grâce à la **coopération entre les acteurs**.

À la suite de la semaine du 15 au 19 juillet, le convoi d'essai est dispersé entre les sites d'Altkirch et de Belfort. Il doit être reconstitué à Montbéliard. DB SystemTechnik et Europorte s'accordent pour affecter un conducteur au rapatriement des voitures, et afin d'éviter de perdre une journée d'essai supplémentaire, ils envisagent de poursuivre l'essai avec un seul conducteur. DB SystemTechnik interroge Alstom, à J-1, sur la possibilité de commander indépendamment les pantographes en mode « pilote » avec un seul conducteur.

Ainsi :

- Europorte facilite la libération d'un conducteur pour acheminer les voitures le lundi 22 juillet, dans le but de reconstituer au plus vite le convoi d'essai nominal ;

- Alstom regarde une solution pour déporter la commande du pantographe pour la configuration en unité double afin d'assurer la circulation d'essai en unité double à un seul conducteur ;
- SNCF Réseau facilite les sillons en urgence pour permettre le rapatriement des voitures et les circulations vers/depuis les nouveaux garages ;
- Plus tard, DB SystemTechnik recherche un câble Ethernet pouvant répondre au besoin d'Alstom.

La coopération fonctionne. De réelles qualités managériales et l'implication des participants sont à l'œuvre pour y parvenir. Chaque acteur impliqué, qu'il apporte une perturbation (*comme les aléas de garage*) ou une solution (*comme la proposition de télécommande*), peut se sentir obligé vis-à-vis des autres : il n'est pas envisagé de dire non ou de revenir en arrière.

Mais c'est cette coopération qui facilite aussi la mise en œuvre de solutions prises de plus en plus dans l'urgence et avec de moins en moins de recul.

Le chef d'essai a envisagé d'abord à J-1 la solution de commande du pantographe en mode « pilote », mode qui n'a pas encore été utilisé. Essayée au matin de l'accident, cette solution ne marche pas. Il accepte alors, au retournement, à Mulhouse-Nord de considérer une deuxième solution que lui apporte l'équipe, imaginée en urgence avec emploi d'un câble.

La coopération, d'abord ressource de résolution de problème, finit par induire une forme de cercle vicieux amenant à élaborer des solutions successives de plus en plus dans l'urgence, qui éloignent progressivement du cadre sécurisé pré-établi.

La nouvelle solution tarde à se concrétiser. Le chef d'essai décide à H-1 de corriger à nouveau les conditions de l'essai pour sauver la marche avec une troisième option. Elle vise à revenir à une unité simple. Mais dans le cadre préexistant d'accomplissement de l'essai, les agents qui œuvraient à la mise en place de la solution précédente n'avaient pas prévu de vérification. En effet, les conditions de l'essai étaient déjà changeantes. La solution, qui utilisait un équipement qui s'est avéré inadéquat (câble non prévu et ceux disponibles pas assez longs), était une alternative qui n'était ni préparée, ni prévue d'être vérifiée. Avec le temps nécessaire à la réalisation du tête-à-queue des locomotives, il est bientôt l'heure du sillon. Le départ va être autorisé : les agents subissent une **rupture de séquence** dans la mise en œuvre de la solution alternative avec câble. Non prévu ni analysé, leur mode opératoire ne suit pas un process qui aurait inclus une vérification ou un débriefing avant de partir, permettant de se rendre compte que le câble était non accroché comme il se devait, ou plus simplement, était enlevé et rangé.

L'enchaînement de modifications en urgence éloigne du cadre sécurisé et dégrade la sécurité de l'essai.

4.4 - La modification des conditions d'autorisation de l'essai

La préparation des opérations vient à faire défaut. La qualité de réalisation de l'essai ne peut qu'en être affectée.

Le chef d'essai ne prend pas conscience que les modifications envisagées dérogent aux conditions de l'essai telles qu'elles ont été autorisées. Il n'en prend pas véritablement conscience du fait de la vision à court terme en place depuis de quelques jours et de la pression qui s'exerce sur lui, lui imposant de trouver une solution.

Mais les solutions proposées modifient bien en réalité les conditions d'essai autorisées : elles ne sont pas décrites dans le dossier de DAUTE. Les configurations décrites à la DAUTE sont explicitement en « double traction ». Elles mettent toutes en action **deux conducteurs** et le principe d'indépendance de commande des locomotives.

Il n'est bien entendu pas impossible de modifier les configurations autorisées. En effet, conformément à l'article 22 de l'arrêté « essais » : « *En cas de modification des conditions selon lesquelles l'autorisation a été délivrée, le demandeur applique le règlement (UE) 402/2013 du 30 avril 2013 afin de déterminer si une nouvelle autorisation est nécessaire. Lorsqu'une nouvelle autorisation n'est pas nécessaire, le demandeur informe néanmoins l'EPSF de la modification dans les meilleurs délais.* »

Ainsi, s'il y a modification, le demandeur doit se questionner sur l'impact relatif aux conditions d'essais et sur les risques associés. L'analyse de risques constitue un principe fondamental consistant à évaluer l'impact de la modification. Dans le cas présent, l'impact est limité, la modification n'est pas significative (i.e. majeure) au sens du règlement européen. C'est-à-dire qu'une nouvelle AUTE n'est pas nécessaire. Le demandeur doit simplement justifier et documenter sa décision. Il doit également informer l'EPSF de sa modification au terme de l'article 22 ci-dessus.

Dans le cas présent, la modification de circuler à un seul conducteur aurait, aux dires des participants, fait l'objet d'une analyse de risques informelle. Dont acte. Cependant celle-ci étant informelle, elle n'est ni décrite, ni documentée. L'EPSF n'a de même pas été informé. La modification n'est en fait pas véritablement précisée. Les modalités pratiques de mise en œuvre ne sont pas définies. Si l'instruction avait été régulièrement faite, le promoteur aurait pris le soin de préciser la modification, de la décrire et sans doute de prévoir quelques jalons de contrôle.

Mais quoi qu'il en soit, le chef d'essai n'avait plus le temps d'effectuer une telle démarche. Sans véritablement en prendre conscience, s'il veut assurer la circulation d'essai, il n'a d'autre option que de sortir du cadre établi de la DAUTE sans instruire la modification. Ou alors de purement annuler et reporter l'essai. Or cela créera du retard supplémentaire (et des justifications, des frais supplémentaires et très certainement une insatisfaction professionnelle).

Le chef d'essai a de plus été perturbé par l'existence de la modalité particulière d'essai dite en « mode pilote ». Ce mode s'applique en configuration E1 (celle initialement prévue, non pas à l'aller, mais au retour de Mulhouse à Montbéliard). Lui la décline en configuration F1. Dans la documentation descriptive du constructeur, ce mode prévoit que la puissance de traction provienne de la machine arrière, et que certaines commandes soient déportées de la machine arrière à la machine de tête, sans qu'il soit très explicitement précisé lesquelles (notamment la commande du pantographe). La documentation n'est pas non plus très explicite si ce mode permet de s'affranchir du deuxième conducteur en situation d'essai. Aux dires du constructeur, il ne le permet pas. Il semble pour le BEA-TT, que la mise en œuvre de ce mode recèle en fait plusieurs ambiguïtés et incompréhensions qui n'ont pas été éclaircies entre le constructeur, l'entreprise ferroviaire et l'organisme d'essai. Plusieurs questions concernant le fonctionnement précis du mode « pilote » n'ont pas véritablement été anticipées. Ceci pose la question de savoir si la préparation de ce mode était suffisante pour sa mise en production en essai. Du point de vue du BEA-TT, elle ne l'était pas. La configuration n'a pas été testée à blanc (en atelier) avant le début des essais.

Quoi qu'il en soit, le jour de l'essai la tentative de l'ingénieur d'Alstom de pilotage du pantographe de la locomotive menée depuis le bord de la locomotive menante échoue, et ceci avant la première marche d'essai. L'ingénieur envisage alors un autre mode de pilotage par un câble de télécommande. Une heure avant le départ de la deuxième marche d'essai, cette solution est encore à l'état de test. Elle n'aboutit pas.

Au total, il peut être noté l'ensemble des écarts significatifs suivants concernant la mise en œuvre de la configuration en unité double à un seul conducteur :

- Elle est prise très tardivement, le vendredi vers midi (soit à J-1, hors week-end).
- Elle correspond à une modification des conditions selon lesquelles l'AUTE a été délivrée, et elle n'est pas instruite comme telle, le chef d'essai et l'équipe d'essai en perdant conscience.
- Elle est construite par extrapolation du mode « pilote » qui n'a pas encore été utilisé et qui, en l'absence de test à blanc, recèle déjà quelques divergences d'interprétation entre les participants, nécessitant une vérification tardive quant à sa mise en œuvre.
- Le mode pilote échouant, elle explore une nouvelle solution qui met en œuvre une modification du câblage ajouté à la locomotive, sans préparation ni définition claires.
- Elle est encore à l'état de test une heure avant le départ.
- Elle ne fait l'objet d'aucune programmation d'un contrôle avant départ.

Chacun de ces éléments constitue un écart significatif avec les conditions réglées qui ont prévalu pour les essais. Ils témoignent dans leur ensemble de **l'impréparation de la solution** conjointement à une sortie du cadre sécurisé pré-établi. Ces écarts ne sont pas faits sciemment. Ils sont involontaires, voire inconscients. Ils s'expliquent par le contexte de forte pression, le comportement hyper-adaptatif des acteurs qui en a découlé et leur bonne coopération. Ils mettent globalement en lumière des lacunes dans la gestion des modifications dans le déroulement des essais.

4.5 - Les mesures prises postérieurement à l'accident

Nous récapitulons ci-après les actions mises en œuvre par les parties prenantes en retour d'expérience de l'accident, telles qu'elles ont été rapportées au BEA-TT.

1- Pour DB SystemTechnik

DB SystemTechnik a établi un plan d'actions en réponse aux causes identifiées dans le retour d'expérience de l'accident, qui se décline ainsi :

- Mise en place de tests systématiques des modes inhabituels d'utilisation des engins moteurs en centre d'essai et gestion adaptée en cas de fonctionnement non conforme à l'attendu, avec transcription de cette pratique dans la DAUTE et dans la fiche d'essai.
- Définition d'une méthodologie d'analyse de risque en cas de modification, avec transcription dans une procédure « Modification des conditions d'essai ». La procédure précise les dispositions à mettre en œuvre par l'équipe d'essai en cas d'aléas nécessitant de déroger au mode opératoire prévu. Elle contient un logigramme décisionnel pour orienter l'équipe en situation. Elle inclut la traçabilité des choix faits (notamment sur la fiche de marche d'essai) et l'arrêt des essais en cas de modification non autorisée.
- Prise en compte dans la préparation du train (au jalon de l'Inspection Commune Préalable) d'une description détaillée et documentée de l'instrumentation installée à bord du train d'essai (photographie, risque, couverture du risque).
- Précision des modes opératoires sur les câblages intégrant la dépose des câbles avant départ et la modification de fixation des câbles non déposés, par l'application de procédure interne sur l'autorisation de roulage et la justification de libération du matériel pour essais après instrumentation.
- Révision de l'analyse de risques des essais établie dans le cadre de la DAUTE avec intégration du risque de brûlure corporelle et adaptation de l'équipement de protection individuelle en couverture de ce risque.

- Mise en œuvre d'une communication sur le retour d'expérience (REX) de l'événement et formation de l'ensemble des chefs d'essai de DB SystemTechnik à la pratique des procédures complémentaires.

Ce plan d'action, assez complet pour répondre aux risques révélés par l'accident, a contribué à apporter des éléments satisfaisant à l'EPSF et à permettre la reprise des essais depuis.

2- Pour Europorte

Au regard de l'analyse de l'évènement, il apparaît que les vêtements portés par la victime le jour de l'incident se sont collés à la peau. C'est la cause majeure des brûlures dont a été victime le DQSC. En effet, ce dernier portait ce jour-là un tee-shirt à manches longues haute visibilité de classe 2. Cet équipement est composé à 60 % de polyester. Pour éviter que le tissu ne se colle, un tee-shirt de type Nomex® serait plus approprié car il protège mieux contre le risque de brûlures par chaleur, flammes ou charges électrostatiques.

Au regard des spécificités de l'activité concernée, Europorte estime qu'il ne semble pas nécessaire de modifier de manière globale le type d'équipement de protection individuelle à fournir à l'ensemble des conducteurs exerçant en situation commerciale. Le risque d'électrisation reste spécifique aux trains d'essai, dont les conducteurs et DQSC seront seuls, pour l'entreprise ferroviaire, équipés de ce nouveau type d'équipement.

L'entreprise ferroviaire est de plus concernée par la mise en œuvre des actions portées par DB SystemTechnik et exposées ci-dessus (gestion des aléas, modes inhabituels). Elle y contribue, le DQSC intervenant notamment dans les contrôles croisés et la traçabilité des opérations effectuées.

Afin que le retour d'expérience bénéficie aux essais futurs, Europorte utilisera la séance de formation continue traitant des facteurs organisationnels et humains, dispensée tous les deux ans, pour exposer l'accident et les leçons à en tirer aux équipes participant aux essais.

3- Pour Alstom

Alstom a immédiatement interrompu toutes les activités de test à la suite de l'accident, puis a partagé les premières conclusions au sein du centre d'essai ferroviaire de l'entreprise et a rappelé la vigilance nécessaire à apporter sur la fixation des câbles en essai. Un processus interne de résolution structurée des problèmes a été mis en place et suivi.

Parallèlement, Alstom a soutenu l'enquête, l'analyse des causes profondes et la mise en œuvre des actions d'atténuation.

Les conclusions définitives vont également être partagées au sein du centre ferroviaire ainsi que d'autres entités telles que Validation, Testing & Commissioning et l'activité Services. Lors de ces partages, au-delà du problème de fixation du câble, Alstom insistera sur tout l'environnement qui a mené à cet accident et analysera les impacts possibles sur ses process et sur ses formations.

4- Pour SNCF Réseau

SNCF Réseau a engagé une démarche de retour d'expérience associant les acteurs ferroviaires impliqués dans l'accident au travers d'un groupe de travail « Trinôme Pantographe Territorial » qui réunit les expertises de l'infrastructure, du matériel roulant, et de la conduite. Ce groupe a permis un partage des divers constats suite à l'accident (qui ont en partie alimenté le présent rapport).

5- Pour l'EPSF

Suite à l'accident, l'AUTE délivrée a été retirée dans l'attente de la recherche des causes et la mise en place de « contre-mesures ». Une communication a été effectuée auprès du secteur ferroviaire mettant en œuvre des essais sur le réseau, pour les informer de l'accident. Un travail de fond a été engagé avec DB SystemTechnik sur leur analyse de l'accident et sur leurs propositions de couverture des risques. Une nouvelle AUTE a été délivrée le 22 novembre 2024 par l'EPSF pour la TRAXX MS 3, tenant compte de ce travail.

De façon globale, l'EPSF a accru sa vigilance lors de l'instruction de toute DAUTE vis-à-vis de l'instrumentation et de la prise en compte des risques associés par le demandeur. À noter que le contrôle des demandeurs de DAUTE a été renforcé en 2024 (avant l'accident survenu sur la TRAXX) et se poursuit en 2025 au niveau de la Direction des Contrôles de l'EPSF. Le retour d'expérience de cet événement est pris en compte lors des inspections correspondantes (gestion des aléas, compétences des acteurs, etc.)

Une mise à jour du guide à l'usage des demandeurs d'autorisations d'essais⁵ est prévue pour le second semestre 2025, dans le but de préciser : 1/ que le demandeur doit prévoir, dans ses processus, la gestion des aléas rencontrés en essai ; 2/ que toute modification des conditions d'essai doit être analysée par le chef d'essai, appuyé le cas échéant, par une équipe de support.

Une mise à jour du tableau d'analyse de risques du guide est prévue pour le second semestre 2025, afin de faire clairement apparaître les risques liés à l'état du véhicule, les risques liés à la compatibilité avec l'infrastructure et les risques liés aux conditions d'essai (instrumentation, survitesse, etc.).

5 Guide 022 de l'EPSF « à l'usage des demandeurs d'autorisations temporaires à des fins d'essais et de catégories d'essais sur le réseau du système ferroviaire »

5 - Les conclusions

5.1 - L'arbre des causes

Les investigations conduites permettent d'établir le graphique ci-après qui synthétise le déroulement de l'accident et en identifie les causes et les facteurs associés mis en évidence par le BEA-TT. Chaque flèche en partie droite indique un lien de causalité.

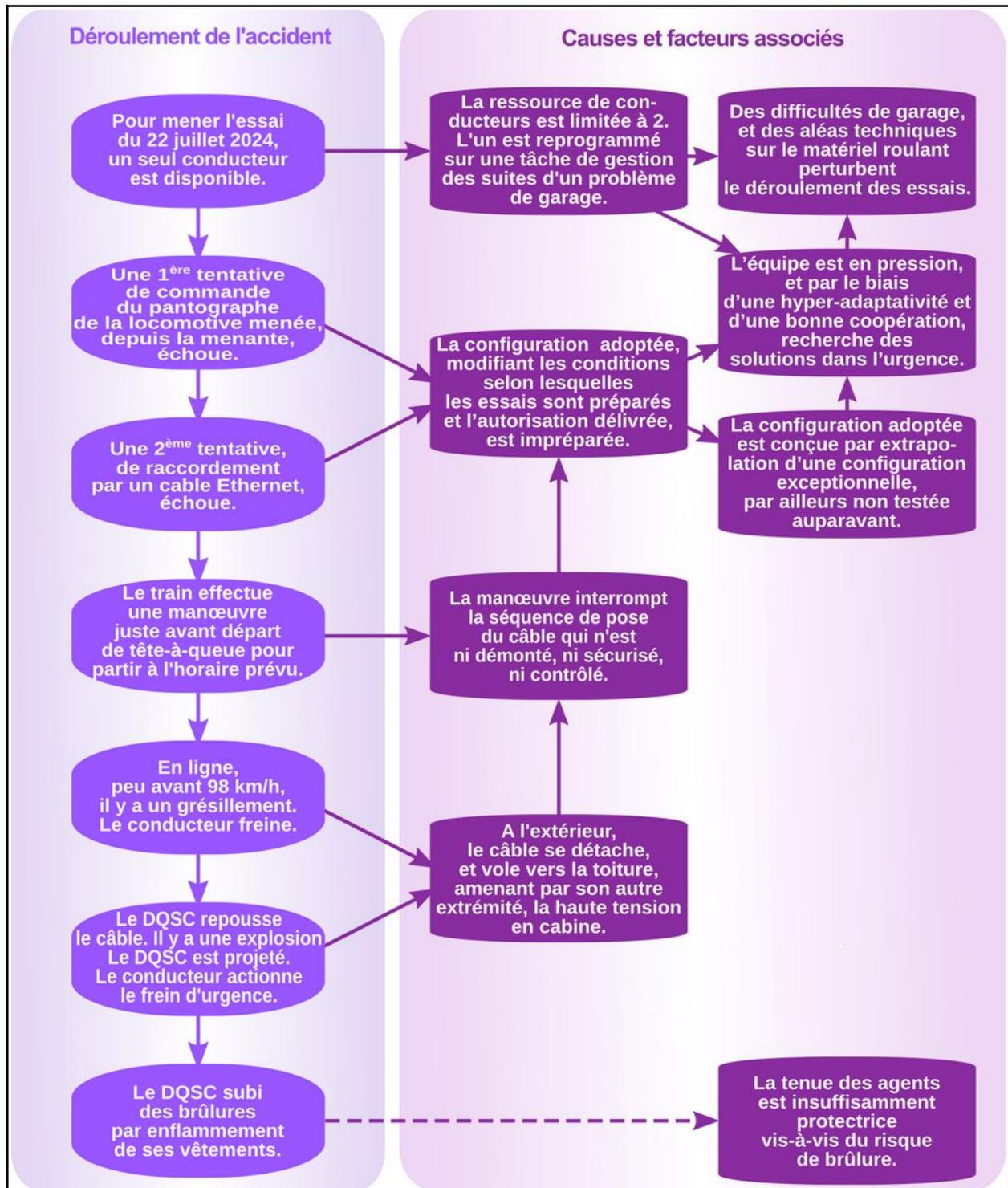


Figure 27 : l'arbre des causes

5.2 - Les causes de l'accident

L'accident d'électrisation d'un agent à bord de la cabine de conduite a pour cause immédiate **l'envol d'un câble Ethernet et sa mise à haute tension par le pantographe en toiture au-dessus de la cabine.**

Le câble Ethernet devait relier les deux locomotives d'essai. Sa pose a commencé juste avant la seconde marche d'essai du lundi 22 juillet 2024. Mais par suite d'une longueur insuffisante, il a été renoncé à son utilisation avant le départ. Simultanément une manœuvre impérative d'inversion des locomotives dans le convoi a interrompu la séquence de pose. Le câble Ethernet est resté simplement branché dans un connecteur sans aucune autre fixation. Il n'a été ni démonté, ni sécurisé, ni contrôlé. La simple connexion s'est démise lorsque le train a pris de la vitesse.

Le câble avait pour objectif de permettre une télécommande du pantographe de la locomotive menée depuis la locomotive menante. En début de journée, la commande était prévue par simple couplage des deux locomotives dans un mode appelé « pilote ». Mais la commande n'a pas été obtenue, ce qui a conduit à la recherche de la solution avec câble. L'obtention d'une commande du pantographe par le mode « pilote » était déjà elle-même une solution conçue tardivement pour s'affranchir de la présence d'un conducteur dans la locomotive menée. Ce deuxième conducteur, normalement présent pour tout essai, avait été affecté en urgence à une autre tâche suite à un aléa technique. La solution, menée hâtivement à J-1, était une extrapolation d'une configuration exceptionnelle, par ailleurs non testée auparavant, et estimée à tort comme permettant de s'affranchir du deuxième conducteur. La solution modifiait les conditions selon lesquelles les essais avaient été préparés et l'autorisation d'essais délivrée. Elle aurait de ce fait dû être l'objet d'une plus grande attention. La cause sous-jacente à l'oubli du câble est ainsi **l'impréparation de la configuration de circulation d'essai en unité double en l'absence d'un deuxième conducteur.** L'analyse met globalement en lumière des lacunes dans la gestion des modifications dans le déroulement des essais.

Très en amont, les essais avaient fait l'objet d'une préparation minutieuse, dans un cadre réglementaire strict. Des difficultés de sites de garage, ainsi que des aléas techniques et des contraintes opérationnelles sur le matériel, ont fortement perturbé leur déroulement. Ces difficultés ont poussé l'équipe, par le biais d'une hyper-adaptativité et d'une bonne coopération, à adopter des solutions improvisées prises dans l'urgence, augmentant les risques, ce qui fut le cas de la solution permettant de s'affranchir d'un des deux conducteurs. L'accident trouve ainsi son explication plus profonde dans le **contexte de pression déstabilisatrice des acteurs produit par les nombreux aléas.**

Une fois l'accident produit, et donc sans être un facteur causal de l'accident, les blessures occasionnées à l'agent accidenté ont été aggravées par la nature de la matière de son vêtement. Celle-ci pourrait être améliorée, car d'autres équipements protègent mieux contre le risque de brûlures.

Conclusions (English version)

Causes of the accident

The immediate cause of the electrocution of an employee in the driver's cab was an **Ethernet cable that flew into the air and was energized by the pantograph on the roof above the cab.**

The Ethernet cable was supposed to connect the two test locomotives. Its installation began just before the second test run on Monday, July 22, 2024. However, due to an insufficient length, its use was dropped before departure. At the same time, a necessary manoeuvre to reverse the locomotives in the train interrupted the installation sequence. The Ethernet cable remained simply plugged into a connector without any further fastening. It was neither dismantled, secured, nor checked. The simple connection came loose as the train increased speed.

The purpose of the cable was to allow remote control of the pantograph of the locomotive being driven from the leading locomotive. At the beginning of the day, this control was planned by simply coupling the two locomotives in a mode called "pilot". However, control was not obtained, which led to the search for a cable solution. Obtaining control of the pantograph by "pilot" mode was itself a solution conceived late to eliminate the need for a driver in the trailing locomotive. This second driver, normally present for any test, had been urgently assigned to another task following a technical problem. The solution, which was implemented hastily on D-1, was an extrapolation of an exceptional configuration, which had not been tested before, and which was wrongly thought to eliminate the need for a second driver. The solution modified the conditions under which the tests had been prepared and the authorisation for test given. It should therefore have received more attention. The underlying cause of the non-secured cable was therefore **the lack of preparation of the double unit test traffic configuration in the absence of a second conductor.** The analysis generally highlights shortcomings in the management of changes in the test process.

The tests had been meticulously prepared well in advance, within a strict regulatory framework. Difficulties with garage sites, as well as technical hazards and operational constraints on the equipment, significantly disrupted the progress of the tests. These difficulties led the team, through hyper-adaptability and good cooperation, to adopt improvised solutions taken in a hurry, increasing the risks, as was the case with the solution allowing one of the two drivers to be removed. The deeper explanation for the accident lies in the **context of destabilising pressure on the participants produced by the numerous hazards.**

Once the accident occurred, and therefore without being a causal factor in the accident, the injuries sustained by the employee were aggravated by the nature of the material of his clothing. This could be improved, as other equipment provides better protection against the risk of burns.

6 - Les recommandations en matière de sécurité

En déclinaison des causes sous-jacentes et profondes de l'accident, les orientations préventives pour éviter le renouvellement d'un tel accident sont à rechercher dans les thématiques suivantes :

- la conduite à tenir en cas de modification des conditions initiales autorisées des essais ;
- la vérification avant essai des modes inhabituels d'utilisation des engins ;
- la fiabilisation des sites de garage ;
- l'attention portée aux aléas techniques en cours de campagne ;
- l'adaptation de l'équipement de protection individuelle à bord en couverture du risque de brûlure corporelle ;
- la prise en compte du retour d'expérience de cet accident pour les futurs essais.

Ces thématiques sont examinées successivement dans les sous-chapitres qui suivent.

6.1 - La conduite à tenir en cas de modification des conditions autorisées des essais

La cause sous-jacente à l'oubli du câble qui provoqué l'accident est l'impréparation de la configuration de circulation de l'essai.

Agissant sous la pression des aléas, et confrontée à la nécessité d'avancer dans la campagne d'essais, l'équipe d'essai n'a pas pris conscience qu'elle sortait du cadre de l'autorisation délivrée par l'EPSF. La solution qu'elle voulait mettre en œuvre, à un seul conducteur, ne fait pas partie des configurations décrites dans le dossier de DAUTE. Celles-ci sont toutes explicitement en « double traction », et donc avec deux conducteurs de manière à permettre une indépendance de commande des locomotives, notamment vis-à-vis des pantographes.

Il n'est pas impossible de modifier les configurations autorisées. Dans le cas présent, s'agissant d'une modification non substantielle, le demandeur devait analyser les risques, justifier et documenter sa décision, et enfin informer l'EPSF de la modification au terme de l'article 22 de l'arrêté « essais ». Ici, la modification aurait bien fait l'objet d'une analyse de risques informelle, cependant elle n'est ni décrite, ni documentée, les modalités pratiques de mise en œuvre ne sont pas définies, et l'EPSF n'est pas informé. Si l'instruction avait été correctement faite, le promoteur aurait pris le soin de préciser la modification, de la décrire et de prévoir les jalons de contrôle.

À la suite de l'accident, l'organisme d'essai a mis en place une nouvelle méthodologie de gestion des modifications transcrite dans une procédure « Modification des conditions d'essai ». La procédure précise les dispositions à mettre en œuvre par l'équipe d'essai en cas d'aléas nécessitant de déroger au mode opératoire prévu. Elle contient un logigramme décisionnel pour orienter l'équipe en situation. Elle inclut la traçabilité des choix faits (notamment sur la fiche de marche d'essai) et l'arrêt des essais en cas de modification non autorisée.

Cette procédure est complétée de nouvelles dispositions à appliquer dans la préparation du train, incluant une description documentée de l'instrumentation, ainsi que plus de contrôle dans les modes opératoires des câblages. Le BEA-TT ayant pu noter qu'un plus grand soin serait nécessaire dans la pose de certains câbles (voir § 3.2.6), cela y répond.

Considérant que ces améliorations répondent aux lacunes mises en lumière par l'accident concernant la gestion des modifications, le BEA-TT n'émet pas de recommandation complémentaire envers l'organisme d'essai sur ce point.

6.2 - La vérification avant essai des modes inhabituels d'utilisation des engins

Lors de la mise en œuvre de la configuration d'essai non autorisée, le chef d'essai a pu être perturbé par l'existence d'une modalité particulière d'essai dite en « mode pilote ». Le mode permet de déporter certaines fonctionnalités de conduite de la locomotive menée à la locomotive menante. La documentation du constructeur sur le mode n'est cependant pas explicite s'il permet la commande indépendante des pantographes, ni s'il permet de s'affranchir d'un deuxième conducteur. Aux dires du constructeur après l'accident, il ne le permet pas. Il est apparu au BEA-TT que, concernant ce mode inhabituel et non encore utilisé, plusieurs ambiguïtés et incompréhensions n'étaient pas éclaircies entre le constructeur, l'entreprise ferroviaire et l'organisme d'essai. Sa préparation était insuffisante.

Postérieurement à l'accident, l'organisme d'essai a modifié son processus en mettant en place des tests systématiques des modes inhabituels d'utilisation des engins moteurs en centre d'essai, avec transcription de cette pratique dans la DAUTE et dans la fiche d'essai.

Considérant que cette amélioration répond à la sécurisation des configurations inhabituelles d'essai, le BEA-TT n'émet pas de recommandation complémentaire envers l'organisme d'essai sur ce point.

6.3 - La sécurisation des sites de garage

Le déroulement des essais a été perturbé par plusieurs problèmes de gestion de garage du train d'essai. Les changements de site de garage ont contraint l'équipe d'essai (élargie) à déprogrammer / reprogrammer plusieurs fois leur organisation, et le choix d'un site inadapté à Altkirch a conduit à la perte de 2,5 jours d'essais la première semaine, ainsi qu'à soustraire momentanément un conducteur des essais.

Il est apparu au BEA-TT que le choix du site de garage, fait entre le gestionnaire d'infrastructure et l'organisme d'essai, résultait plus d'un choix par défaut que d'une véritable analyse de l'adéquation au besoin, sans vérification bilatérale sur place de cette bonne adéquation avec éventuelles prises de mesures complémentaires en cas de risque constaté (élagage et gardiennage par exemple pour Altkirch).

La qualité des sites de garage étant partie intégrante de la préparation des circulations d'essai et de la sérénité des équipes qui préparent ces circulations, il appartient à l'organisme d'essai et au gestionnaire d'infrastructure de bien coopérer sur ce point. Le BEA-TT émet la recommandation suivante.

Recommandation R1 à l'attention de DB SystemTechnik et de SNCF Réseau :

Définir et mettre en œuvre un mode opératoire permettant de s'assurer que les sites de garage des circulations d'essai ont une qualité proportionnée à la nature de la circulation, en effectuant par exemple une visite préalable bilatérale actant les mesures d'accompagnement à prendre.

6.4 - L'attention portée aux aléas techniques en cours de campagne

Le déroulement des essais a été perturbé par plusieurs incidents techniques et aléas opérationnels sur le matériel. Le BEA-TT identifie au nombre d'entre eux, les suivants :

- une non-autorisation à circulation en engin moteur de tête concernant la locomotive 188 003. Alstom l'a paré au travers d'un mode « pilote », toutefois insuffisamment préparé ;
- une perte de pantographe en cours de campagne 1,5 kV. Alstom et le gestionnaire d'infrastructure l'ont paré en interdisant la configuration correspondante ;
- 6 occurrences d'arrêt en ligne pour alarme Vacma (4 le 18, et 2 le 22 juillet), en cours d'analyse au jour de l'accident ;
- 3 occurrences d'arrêt en ligne par activation d'une sécurité lors de la remontée du pantographe (1 le 18, et 2 le 22 juillet), en cours d'analyse au jour de l'accident ;
- une panne d'anti-enrayage (le 18 juillet), résolue dès le lendemain.

Il peut être constaté que les difficultés, inhérentes au déverminage d'un nouveau matériel, étaient assez nombreuses. Elles apportaient des contraintes sur les opérations, des pertes de journées d'essais et une pression sur l'équipe qui n'a pas été sans conséquence.

Le BEA-TT note que le constructeur avait conscience de ces nombreuses difficultés et qu'il en assurait un traitement, sans que celui-ci soit pour autant vraiment formalisé. L'organisme d'essai adressait quotidiennement un relevé précis des difficultés rencontrées dans la journée au constructeur. Certains problèmes ne trouvaient évidemment leur résolution que moyennant des diagnostics approfondis et des expertises, ce qui prenait un certain temps. L'accident s'étant produit au deuxième jour effectif d'essai, il était encore trop tôt pour apprécier si le temps de résolution des difficultés était satisfaisant. Le BEA-TT a pu constater par la suite les efforts mis en œuvre par le constructeur, et ils lui ont semblé acceptables.

Le BEA-TT invite Alstom à accorder, lors des campagnes d'essais, une importance primordiale à la formalisation du suivi des aléas, incluant l'amortissement des actions de traitement conduites avec contrôle des délais de résolution.

6.5 - L'adaptation de l'équipement de protection individuelle à bord

Les blessures de l'agent accidenté ont été aggravées par la nature de la matière de son vêtement. Le tee-shirt à manches longues haute visibilité de classe 2, dont était équipé l'agent blessé, avait une fonction de sécurité puisqu'il permettait d'être visible lors des déplacements à pied sur une zone d'évolution du train. Il s'agit, par ailleurs, d'un vêtement « normalisé », qui est de façon habituelle porté par les opérateurs de toutes les entreprises du secteur ferroviaire ayant accès aux emprises ferroviaires, conforme aux exigences.

En retour d'expérience de l'accident, Europorte a désormais prévu d'équiper en cabine les conducteurs et DQSC d'essai d'un vêtement qui protège mieux contre le risque de brûlures. DB SystemTechnik a étendu cette mesure au personnel de bord en intégrant la disposition à l'analyse de risque qui conditionne les essais. Le BEA-TT a pu constater lors d'une tournée sur essai que ces mesures sont effectives.

Considérant que ces adaptations répondent au risque mis en évidence sur la sécurité du personnel en essai, le BEA-TT n'émet pas de recommandation complémentaire envers l'entreprise ferroviaire et l'organisme d'essai sur ce point.

6.6 - La prise en compte du retour d'expérience de cet accident pour les futurs essais

Des dispositions ont été prises par DB SystemTechnik et par Europorte pour que les enseignements de cet accident bénéficient aux futurs essais. Les procédures ont été revues. Leurs agents qui contribueront à leur mise en œuvre seront sensibilisés et formés.

Il convient toutefois que les enseignements touchent et soient pris en compte par l'ensemble du secteur, à savoir les divers organismes d'essai, les entreprises ferroviaires et les constructeurs qui peuvent être amenés à organiser des essais sur le réseau ferré français. Au tout premier rang figurent les demandeurs d'autorisation d'essai.

Le BEA-TT invite les demandeurs de futures autorisations d'essai à mettre en œuvre la recommandation R1, et à prendre en compte dans la préparation des essais, dans les analyses de risques, et dans la conduite des essais, le retour d'expérience du présent accident sur les points d'attention suivants :

- ***la gestion des aléas rencontrés en essai ;***
- ***l'analyse de toute modification des conditions d'essai ;***
- ***la préparation à blanc des configurations d'essai y compris particulières ;***
- ***la description documentée des câblages ;***
- ***la prise en compte du risque de brûlure corporelle dans les équipements de protection individuelle.***

L'EPSF peut jouer un rôle de premier plan dans la sensibilisation des acteurs. Il a en effet pour mission de délivrer les autorisations d'essais et par là même de s'assurer que les demandeurs offrent les garanties pour assurer ces essais, aux travers d'un examen des méthodologies que ces demandeurs proposent de mettre en œuvre.

L'EPSF a ainsi d'ores et déjà accru sa vigilance lors de l'instruction des DAUTE, et a pris en compte le retour d'expérience de l'accident pour la conduite des inspections qu'il opère.

Une mise à jour du guide à l'usage des demandeurs d'autorisations d'essais est prévue pour le second semestre 2025. Elle devrait être l'occasion d'intégrer au guide les points d'attention mis en évidence par l'accident, cités dans l'invitation aux demandeurs faites ci-dessus.

C'est pourquoi le BEA-TT émet la recommandation ci-après.

Recommandation R2 à l'attention de l'Établissement public de sécurité ferroviaire :

Dans le cadre de la prochaine mise à jour du guide à l'usage des demandeurs d'autorisations d'essais, analyser les enseignements à tirer du présent accident et intégrer à la révision du guide les attentes correspondantes à l'égard des demandeurs.

Recommendations (English version)

Based on the underlying causes of the accident, preventive measures to avoid the recurrence of such an accident should be sought in the following fields:

- what to do in the event of a change in the initial authorised test conditions ;
- pre-test verification of unusual machine operating modes ;
- ensuring the reliability of garage sites ;
- attention paid to technical hazards during the campaign ;
- adapting personal protective equipment on board to cover the risk of body burns ;
- taking into account feedback from this accident for future tests.

These issues are successively examined in the following sub-chapters.

What to do in the event of a change in the authorised test conditions

The underlying cause of the forgotten Ethernet cable that caused the accident was the unpreparedness of the test running configuration.

Acting under the pressure of unforeseen circumstances, and faced with the need to move forward with the test campaign, the test team failed to realise that they were going beyond the scope of the authorisation issued by the EPSF. The solution they wanted to implement, with a single driver, is not one of the configurations described in the DAUTE file. These configurations are all explicitly 'double traction', i.e. with two drivers to allow independent control of the locomotives, particularly with regard to the pantographs.

It is possible to modify authorised configurations. In this case, as it was a non-substantial modification, the applicant had to analyse the risks, justify and document his decision, and finally inform the EPSF of the modification under the terms of article 22 of the French « tests » ordinance. Here, the modification would have been the subject of an informal risk analysis, but it was neither described nor documented, the practical implementing procedures were not defined, and the EPSF was not informed. If the instruction had been carried out correctly, the testing organisation would have taken care to specify the modification, describe it and provide for control milestones.

Following the accident, the testing organization implemented a new change management methodology, transcribed into a « Modification of Test Conditions » procedure. The procedure specifies the measures to be implemented by the testing team in the event of unforeseen events requiring deviations from the planned operating procedure. It contains a decision-making diagram to guide the team in such situations. It includes traceability of the choices made (in particular on the test run sheet) and the stopping of tests in the event of unauthorised modification.

This procedure is supplemented by new arrangements to be applied in the preparation of the train, including a documented description of the instrumentation, as well as more control in the wiring operating procedures. The BEA-TT noted that greater care would be required in the installation of certain cables (see § 3.2.6), and this procedure answers this.

Considering that these improvements respond to the shortcomings highlighted by the accident concerning the management of modifications, the BEA-TT does not consider any additional recommendation to the testing organisation on this scope.

Pre-test verification of unusual engine operating modes

During the implementation of the unauthorised test configuration, the test supervisor may have been confused by the existence of a specific test mode known as « pilot mode ». This mode allows certain driving functions to be transferred from the locomotive being driven to the leading locomotive. However, the manufacturer's documentation on this mode does not explicitly state whether it allows independent control of the pantographs, nor whether it allows the removal of a second driver. According to the manufacturer after the accident, it does not. It became apparent to the BEA-TT that, regarding this unusual and as yet unused mode, several ambiguities and misunderstandings had not been clarified between the manufacturer, the railway undertaking, and the testing organisation. Its preparation was inadequate.

After the accident, the testing organisation modified its process by introducing systematic tests of unusual modes concerning the use of the traction units at the test centre, with this practice being recorded in the DAUTE and in the test sheet.

Considering that this improvement addresses the need to make unusual test configurations safer, the BEA-TT does not consider any additional recommendation to the testing organisation on this scope.

Securing the garage sites

The progress of the tests was disrupted by several garage management issues for the test train. The changes in garage site forced the (enlarged) test team to cancel and reschedule their schedule several times, and the choice of an unsuitable site in Altkirch led to the loss of 2.5 days of testing in the first week, as well as the temporary removal of a driver from the tests.

It appeared to the BEA-TT that the choice of the garage site, made between the infrastructure manager and the testing organisation, was more a choice by default than a true analysis of its suitability for the needs, without any bilateral on-site verification of this good suitability with possible additional measures taken if a risk would have been identified (tree pruning and security, for example, in Altkirch).

Since the quality of the garage sites is an integral part of the preparation of test runs and of the teams' peace of mind while preparing these runs, it is up to the testing organisation and the infrastructure manager to cooperate well on this point. The BEA-TT issues the following recommendation.

Recommendation R1 to DB SystemTechnik and SNCF Réseau :

Define and implement a procedure to ensure that the quality of the garage sites is commensurate with the nature of the test run, for example by carrying out a prior bilateral visit to identify the necessary supporting measures.

Attention paid to technical incidents during the campaign

The testing process has been disrupted by several technical incidents and operational problems affecting the equipment. The BEA-TT identified the main difficulties above:

- The 188 003 locomotive was not authorised to run as a leading locomotive. Alstom addressed this issue through a « pilot » mode, which was, however, insufficiently prepared.

- A loss of pantograph during the 1.5 kV campaign. Alstom and the infrastructure manager addressed this by prohibiting the corresponding configuration.
- 6 occurrences of line stops due to dead man's switch alarms (4 on July 18th and 2 on July 22nd), which were still being analysed on the day of the accident.
- An anti-skid failure (on July 18th), which was solved the following day.

One observes that the inherent difficulties in debugging this new locomotive were quite numerous. They have imposed constraints on operations, resulting in the loss of test days, and has put strain on the team, which was not without consequences.

The BEA-TT notes that the manufacturer was aware of these numerous difficulties and was dealing with them, although this was not really formalised. Every day, the testing organisation sent the manufacturer a detailed report of the difficulties encountered during the day. Some problems were obviously only resolved through in-depth diagnostics and expert analysis, which took some time. Since the accident occurred on the second effective day of testing, it was still too early to assess whether the time taken to solve the problems was satisfactory. The BEA-TT was subsequently able to observe the efforts made by the manufacturer, and found them acceptable.

The BEA-TT invites Alstom to attach prime importance, during test campaigns, to the formalisation of incidents follow-up, including the recording of the corrective actions, with control on resolution duration.

Adaptation of personal protective equipment on board

The employee's injuries were aggravated by the nature of the material of his clothes. The class 2 high-visibility long-sleeved T-shirt worn by the injured employee served a safety purpose, as it made him visible when walking in a train area. It is also a 'standard' garment, which is usually worn by operators of all railway companies with access to railway area, and it complies with the national requirements.

Based on feedback from the accident, the railway undertaking Europorte has now planned to equip its drivers and test DQSC in cab with clothing that provides better protection against the risk of burns. The testing organisation DB SystemTechnik has extended this measure to onboard staff by incorporating the arrangement into the risk analysis that governs the tests. The BEA-TT was able to confirm during a test tour that these measures are effective.

Considering that these adaptations respond to the risk identified concerning the test staff's safety, the BEA-TT does not consider any additional recommendation to the railway undertaking and the testing organisation on this scope.

Taking into account feedback from this accident for future tests

Measures have been taken by DB SystemTechnik and Europorte to ensure that the lessons learned from this accident will benefit future tests. Procedures have been reviewed. Their testing staff will be made aware of them and trained.

However, the lessons learnt must be addressed and taken into account by the entire sector, namely the various testing organisations, railway undertakings and manufacturers who may be required to organise tests on the French rail network. This includes, first and foremost, applicants for test authorisation.

The BEA-TT invites applicants for future test authorisations to implement recommendation R1, and to take into account feedback from this accident in test preparation, in risk analysis, and in test conduct, with regard to the following points of attention:

- ***management of hazards encountered during testing,***
- ***analysis of any change in test conditions,***
- ***blank preparation of test configurations, including special configurations,***
- ***documented description of wiring,***
- ***taking account of the risk of burns in personal protective equipment.***

The EPSF can play a leading role in raising awareness among stakeholders. One of its missions is to deliver test authorisations and thereby, to ensure that applicants provide the necessary guarantees to conduct these tests, by reviewing the methodologies they propose to implement.

The EPSF has already increased its vigilance during the examinations of DAUTE, and has taken into account the feedback from this accident when conducting its inspections.

An update of the guidance for test authorisation applicants is planned on the second half of 2025. This should provide an opportunity to incorporate into the guidance the points of attention highlighted by the accident, as mentioned in the invitation to applicants above.

The BEA-TT therefore issues the following recommendation.

Recommendation R2 to the French National Safety Authority (EPSF) :

As part of the upcoming update of the guidance for applicants for test authorisations, analyse the lessons to be learned from this accident and incorporate the corresponding expectations for applicants into the revision of the guidance.

ANNEXES

Annexe 1 : décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : schéma de signalisation de la ligne

Annexe 3 : relevé de l'enregistrement des paramètres de conduite

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



Le Directeur



La Défense, le 19 septembre 2024

DECISION

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

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

Vu les circonstances de l'accident de haute tension lors d'une circulation d'essai de locomotive survenu à Altkirch (68) le 22 juillet 2024 ;

décide

Article 1 : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-1 et R. 1621-22 du Code des transports concernant l'accident de haute tension lors d'une circulation d'essai de locomotive survenu le 22 juillet 2024 à Altkirch dans le Haut-Rhin.

Jean-Damien PONCET

Annexe 3 : Relevé de l'enregistrement des paramètres de conduite

Ref N°	Start time UTC	End Time UTC	Duration	Dist Text	Speed [km/h]	Line voltage [V]
08296	2024-07-22 13:50:24	2024-07-22 13:50:27	00:00:03	Bouton pantograph haut «actif»	0	1516
03295	2024-07-22 13:50:41	2024-07-22 13:50:44	00:00:03	Bouton DJ 'ON' actif	0	24883
03629	2024-07-22 13:50:54	2024-07-22 13:50:57	00:00:03	Bouton klaxon pupitre conducteur (DD2) actif	0	25439
03600	2024-07-22 13:50:55	2024-07-22 13:50:58	00:00:03	Bouton klaxon pupitre conducteur (DD2) actif	0	25681
00123	2024-07-22 13:50:58	2024-07-22 13:51:03	00:00:05	Manipulateur de traction/freinage en position «tractions»	0	25849
00184	2024-07-22 13:50:58	2024-07-22 13:53:29	00:02:30	Convertisseur auxiliaire 2 (HBU): commande de cadence	0	25849
01520	2024-07-22 13:51:01	2024-07-22 13:51:08	00:00:07	Robinet de frein direct (DD2) en position «appliqué»	0	25803
02493	2024-07-22 13:51:05	2024-07-22 13:53:29	00:02:23	Convertisseur auxiliaire 1 (HBU): commande de cadence actif	0	25671
00133	2024-07-22 13:51:08	2024-07-22 13:51:29	00:00:20	Manipulateur de traction/freinage en position «tractions»	0	25761
00136	2024-07-22 13:51:10	2024-07-22 13:51:39	00:00:28	Ondulateur Moteur 1 (SR1) cadencant	0	25812
00844	2024-07-22 13:51:10	2024-07-22 13:51:26	00:00:15	Ondulateur Moteur 2 (SR2) cadencant	0	25812
03632	2024-07-22 13:51:11	2024-07-22 13:51:14	00:00:03	Bouton klaxon pupitre conducteur (DD2) actif	0	25827
04959	2024-07-22 13:51:12	2024-07-22 13:53:55	00:00:42	Véhicule en mouvement	0	25827
04797	2024-07-22 13:51:16	2024-07-22 13:53:56	00:02:39	Boucle de shuntage en mode permanent	4	25805
00137	2024-07-22 13:51:46	2024-07-22 13:53:10	00:01:23	Manipulateur de traction/freinage en position «tractions»	15	25776
00138	2024-07-22 13:51:47	2024-07-22 13:53:30	00:01:42	Ondulateur Moteur 1 (SR1) cadencant	14	25756
00865	2024-07-22 13:51:47	2024-07-22 13:52:02	00:00:14	Ondulateur Moteur 2 (SR2) cadencant	14	25756
00872	2024-07-22 13:52:20	2024-07-22 13:52:49	00:00:28	Ondulateur Moteur 2 (SR2) cadencant	34	25910
01340	2024-07-22 13:53:16	2024-07-23 13:44:48	23:51:32	Robinet de frein indirect en position «freinage»	98	26047
00874	2024-07-22 13:53:17	2024-07-22 13:53:30	00:00:12	Ondulateur Moteur 2 (SR2) cadencant	98	26081
06032	2024-07-22 13:53:22	2024-07-22 13:53:28	00:00:06	LIM: fréquence du réseau 50Hz non détectée	92	9780
06037	2024-07-22 13:53:23	2024-07-22 13:53:28	00:00:05	Tension du caténaire trop basse	90	81
03050	2024-07-22 13:53:25	2024-07-23 13:44:50	23:51:20	Frein d'urgence actif	86	80
08300	2024-07-22 13:53:30	2024-07-23 13:44:50	23:51:20	Volets des systèmes CVC fermés dans la cabine 2	69	26413
08301	2024-07-22 13:53:30	2024-07-23 13:44:50	23:51:20	Volets des systèmes CVC fermés dans la cabine 1	69	26413
08302	2024-07-22 13:53:30	2024-07-23 13:44:50	23:51:20	Unités de CVC sont forcées en mode "arrêt" à cause de fumé.	69	26413
05481	2024-07-22 13:53:32	2024-07-23 13:44:50	23:51:18	Demande de mise hors tension d'urgence	64	26406
08303	2024-07-22 13:53:32	2024-07-23 13:44:52	23:51:20	Fumée détectée	65	26394
08304	2024-07-22 13:53:33	2024-07-23 13:44:52	23:51:18	Unité de contrôle des incendies active	61	26428
02176	2024-07-22 13:53:34	2024-07-23 13:44:50	23:51:15	Communication CAN diesel moteur perturbée	58	2673
02177	2024-07-22 13:53:38	2024-07-23 13:44:50	23:51:11	Erreur communication CAN diesel moteur	46	1704
02172	2024-07-22 13:53:46	2024-07-23 13:44:50	23:51:04	Arrêt d'urgence du véhicule 1 déclenché	21	1682
08305	2024-07-22 13:53:46	2024-07-23 13:44:48	23:51:02	Bouton pantographe basse et sablage «actif»	20	1652
02946	2024-07-22 13:53:50	2024-07-22 14:01:54	00:08:04	Indicateur dans le bouton-poussoir sens de marche "avant" active	6	1657
05083	2024-07-22 13:53:57	2024-07-23 13:44:52	23:50:54	Boucle de shuntage en mode actif	0	1682

Les heures des fichiers de diagnostic sont exprimées en UTC ; pour la zone française, il faut compter deux heures de plus. Les messages de diagnostic ne contiennent pas tous des données sur la vitesse et la tension de la caténaire. Seuls les messages qui donnent une information directe sur le cours d'essais sont mentionnés.

Règlement général de protection des données

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

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

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

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

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

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

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

- à l'adresse : bea-tt@developpement-durable.gouv.fr
- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse suivante :

Ministère des transports

À l'attention du directeur du BEA-TT

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

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

- à l'adresse suivante : ajag2.daj.sg@developpement-durable.gouv.fr ;
- ou par courrier (avec copie de votre pièce d'identité en cas d'exercice de vos droits) à l'adresse suivante :

Ministère des transports

À l'attention du Délégué à la protection des données

SG/DAJ/AJAG2

92055 La Défense cedex

Vous avez également la possibilité d'adresser une réclamation relative aux traitements mis en œuvre à la Commission nationale informatique et libertés.

(3 Place de Fontenoy - TSA 80715 - 75334 PARIS CEDEX 07)



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex

Téléphone : 01 40 81 21 83

bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

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

