

**BEA-TT**

*Bureau d'enquêtes sur les Accidents  
de transport terrestre*

*Rapport d'enquête technique  
sur l'incendie d'une rame  
du tramway sur pneumatiques  
de Clermont-Ferrand (63),  
le 26 décembre 2009*

*novembre 2011*



Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergies et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**



**Conseil Général de l'Environnement  
et du Développement Durable**

**Bureau d'Enquêtes sur les Accidents  
de Transport Terrestre**

Affaire n° BEATT-2010-001

**Rapport d'enquête technique  
sur l'incendie d'une rame  
du tramway sur pneumatiques  
de Clermont-Ferrand (63),  
le 26 décembre 2009**

## **Bordereau documentaire**

Organisme commanditaire : Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL)

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur l'incendie d'une rame du tramway sur pneumatiques de Clermont-Ferrand (63), le 26 décembre 2009

N°ISRN : EQ-BEAT--11-15--FR

Proposition de mots-clés : accident, incendie, tramway sur pneus, transport guidé

### **Avertissement**

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002, codifié aux articles L 1621-1 à 1622-2 du code des transports, et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004, relatifs notamment aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'évènement analysé et en établissant les recommandations de sécurité utiles. 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.



# SOMMAIRE

<b>GLOSSAIRE.....</b>	<b>9</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>11</b>
<b>1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....</b>	<b>13</b>
1.1 - Circonstances de l'accident .....	13
1.2 - Bilan humain et matériel.....	13
1.3 - Engagement et organisation de l'enquête.....	13
<b>2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....</b>	<b>15</b>
2.1 - La ligne de tramway de Clermont-Ferrand .....	15
2.2 - Les caractéristiques des rames du tramway.....	16
2.2.1 -Les caractéristiques générales.....	16
2.2.2 -Les modules d'inter-circulation.....	16
2.2.3 -Les dispositifs de freinage.....	17
2.2.4 -Le dispositif de freinage mécanique.....	17
2.3 - Les dispositions règlementaires ou normatives concernant le comportement au feu des matériaux.....	18
<b>3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....</b>	<b>21</b>
3.1 - Résumé du témoignage du conducteur.....	21
3.2 - Relevé des dégâts occasionnés.....	21
3.2.1 -Les dégâts subis par le matériel roulant.....	21
3.2.2 -Les dégâts causés à l'infrastructure.....	22
3.3 - L'exploitation des enregistreurs de données et des photos.....	23
3.3.1 -L'exploitation des vidéos de l'intérieur de la rame n°15.....	23
3.3.2 -L'exploitation des photos prises lors de l'incendie.....	23
3.3.3 -L'exploitation du boîtier de mémorisation et d'affichage de la rame n°15.....	25
3.3.4 -L'exploitation des échanges radio et téléphoniques du PCC.....	25
3.4 - Les constatations relevées sur les équipements.....	25
3.4.1 -Les constatations effectuées sur le système de freinage.....	25
3.4.2 -Les constatations portant sur le dispositif d'alarmes de dysfonctionnement du système de freinage...27	
3.5 - L'analyse de l'exploitation et de la maintenance.....	28
3.5.1 -L'exploitation de la rame impliquée.....	28
3.5.2 -La maintenance de la rame.....	28
3.6 - L'examen des dossiers de sécurité du matériel roulant.....	29
3.6.1 -L'analyse des risques.....	29
3.6.2 -Le comportement au feu des matériaux.....	29
3.7 - La prise en compte des retours d'expérience.....	30
3.7.1 -L'organisation des relations entre les acteurs.....	30

3.7.2 -Les évènements précurseurs survenus à Clermont-Ferrand.....	31
3.7.3 -Les accidents comparables survenus sur d'autres réseaux.....	31
<b>4 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....</b>	<b>33</b>
4.1 - La situation avant l'accident.....	33
4.2 - L'échauffement du système de freinage.....	33
4.3 - L'éclosion et le développement de l'incendie.....	34
4.4 - Les actions post-accident.....	35
<b>5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.</b>	<b>37</b>
5.1 - L'arbre des causes.....	37
5.2 - La conception des freins mécaniques de la rame.....	37
5.3 - L'isolation entre la source de chaleur et l'espace voyageurs.....	39
5.4 - Le comportement au feu des matériaux de la rame.....	40
5.4.1 -Le cas particulier des soufflets d'inter-circulation.....	40
5.4.2 -Les autres matériaux de la rame.....	40
5.5 - L'organisation du retour d'expérience.....	41
<b>6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>45</b>
6.1 - Causes de l'accident.....	45
6.2 - Recommandations.....	45
<b>ANNEXES.....</b>	<b>47</b>
Annexe 1 : décision d'ouverture d'enquête.....	49
Annexe 2 : fonctionnement du dispositif d'actionnement des plaquettes de frein.....	51
Annexe 3 : chronologie reconstituée des évènements survenus à la rame n°15.....	55
Annexe 4 : état des lieux du comportement au feu des rames de tramway.....	57

# Glossaire

- **ABS** : Anti-Blocage de Sécurité
- **AOT** : Autorité Organisatrice des Transports
- **BIRMTG-C** : Bureau Interdépartemental des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés du Centre, devenu, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011, le bureau massif central (BMC) du STRMTG
- **BMA** : Boitier de Mémorisation et d'Affichage
- **DSP** : Délégation de Service Public
- **EOQA** : Expert ou Organisme Qualifié Agréé
- **ER** : Evènement Redouté
- **LAC** : Ligne Aérienne de Contact
- **ME** : Module d'Extrémité d'une rame de tramway Translohr
- **MI** : Module Intermédiaire d'une rame de tramway Translohr
- **MP** : Module Porteur d'une rame de tramway Translohr
- **PCC** : Poste de Commande Centralisé
- **SMTC** : Syndicat Mixte des Transports de Clermont-Ferrand
- **STRMTG** : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
- **T2C** : Transport en Commun de l'agglomération Clermontoise



# Résumé

Le 26 décembre 2009, vers 7h12, le conducteur de la rame n°15 du tramway de Clermont-Ferrand constate de la fumée à l'intérieur de l'un de ses modules. Il la rapatrie sur une voie de garage du terminus « La Pardieu Gare » de la ligne. Quelques minutes après, cette rame s'embrase. L'incendie dure une trentaine de minutes.

L'incendie n'a fait aucun blessé. La rame est entièrement détruite. Les dégâts causés à l'infrastructure sont mineurs.

La cause directe de l'accident est le blocage d'un frein dû à une corrosion généralisée de son système d'actionnement des plaquettes, dont ni la conception ni la fabrication ne permettaient d'assurer l'étanchéité.

La chaleur rayonnée par l'échauffement de ce frein en position serrée a entraîné la pyrolyse du garde-boue et du soufflet d'inter-circulation situés à sa proximité immédiate. Les gaz de pyrolyse se sont ensuite enflammés et l'incendie s'est propagé à l'ensemble de la rame.

L'éclosion des flammes dans l'espace voyageurs a été favorisée par la faible distance et l'absence de pare-feu efficace entre le système de freinage et le soufflet d'inter-circulation.

La propagation de l'incendie au reste de la rame a été facilitée par la présence de matériaux n'offrant pas un niveau de protection contre les incendies équivalent à celui de la norme NF F 16-101 relative au comportement au feu des matériels roulants ferroviaires.

L'analyse de l'accident conduit le BEA-TT à émettre six recommandations sur les quatre thèmes suivants :

- la conception des freins mécaniques de la rame ;
- l'isolation entre l'espace voyageurs et le système de freinage mécanique ;
- le comportement au feu des matériaux de la rame ;
- l'organisation du retour d'expérience.

Par ailleurs, le BEA-TT encourage les industriels à développer et à utiliser pour les soufflets d'inter-circulation des matériaux offrant une réaction au feu et un indice de fumées plus performants que ceux des dispositifs actuels de ce type.



# **1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête**

## **1.1 - Circonstances de l'accident**

Le 26 décembre 2009, vers 7h12, le conducteur de la rame n°15 du tramway de Clermont-Ferrand constate de la fumée à l'intérieur de l'un de ses modules. Il la rapatrie sur une voie de garage du terminus « La Pardieu Gare » de la ligne. Quelques minutes après, cette rame s'embrase. L'incendie dure une trentaine de minutes.

## **1.2 - Bilan humain et matériel**

Les pompiers ont été prévenus à 7h22 et sont arrivés sur les lieux vers 7h35.

L'incendie n'a fait aucun blessé.

La rame a, en revanche, été entièrement détruite. L'infrastructure n'a subi que des dégâts mineurs.

Cet événement a nécessité d'interrompre la circulation des tramways sur l'ensemble de la ligne pendant 1h12.

## **1.3 - Engagement et organisation de l'enquête**

Au vu des circonstances de cet accident, et avec l'accord du ministre chargé des transports, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert une enquête technique le 4 janvier 2010, dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002, codifié depuis le 28 octobre 2010 aux articles L. 1621-1 à 1622-2 du code des transports.

Les enquêteurs techniques du BEA-TT se sont rendus sur le site de l'accident et ont rencontré les représentants de l'autorité organisatrice des transports, de l'exploitant, du constructeur de la rame, du préfet de département et du bureau inter-départemental des remontées mécaniques et des transports guidés du Centre (BIRMTG-C) qui est en charge du contrôle de la sécurité pour le compte du préfet.

Ils ont eu communication de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à leur enquête, notamment les relevés des vidéos et enregistreurs du matériel roulant, le rapport règlementaire d'accident notable établi par l'exploitant, les notes rédigées par l'expert judiciaire nommé par le tribunal de grande instance de Clermont-Ferrand.



## 2 - Contexte de l'accident

### 2.1 - La ligne de tramway de Clermont-Ferrand

La ligne de tramway de l'agglomération de Clermont-Ferrand s'étend sur une longueur de 14,2 km et comprend 31 stations.

Cette ligne est dotée du système Translohr développé par le constructeur Lohr Industrie : les rames roulent sur des pneumatiques et sont guidées sur tout leur parcours par un rail central. Elle constitue la première utilisation commerciale de ce système.

L'autorité organisatrice des transports (AOT) en est le syndicat mixte des transports de Clermont-Ferrand (SMTC), qui regroupe 22 communes de l'agglomération clermontoise.

L'exploitation de cette ligne est assurée, dans le cadre d'une délégation de service public, par la société anonyme d'économie mixte de transport en commun de l'agglomération clermontoise (T2C).

La ligne est récente. La mise en service de son premier tronçon entre le terminus « Champratel » et la station « CHU G. Montpied » a été autorisée par arrêté préfectoral du 13 novembre 2006, et l'exploitation de son prolongement de la station « CHU G. Montpied » au terminus « La Pardieu Gare » par arrêté du 24 août 2007.

Elle est exploitée de 5h00 à 1h00, avec une fréquence de 5 à 8 minutes en journée. En 2010, l'exploitant y a recensé 14,6 millions de voyages effectués pour 1,2 millions de kilomètres parcourus par ses rames.

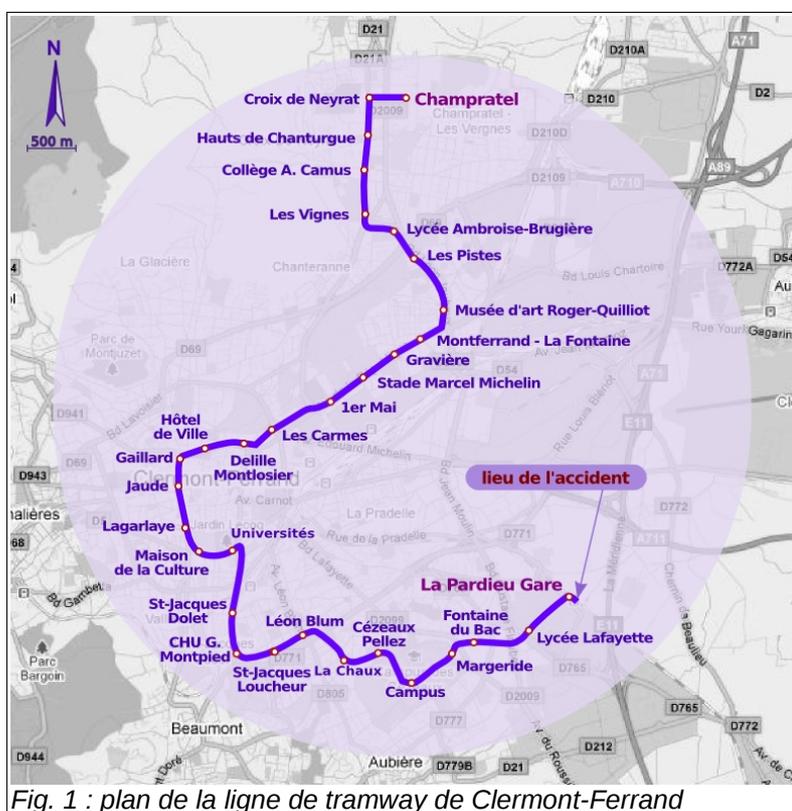


Fig. 1 : plan de la ligne de tramway de Clermont-Ferrand

## 2.2 - Les caractéristiques des rames du tramway

### 2.2.1 - Les caractéristiques générales

Le parc de véhicules utilisé pour l'exploitation de la ligne considérée comprend 26 rames de la gamme STE4 du constructeur Lohr.

Ces rames ont une longueur de 32 m, une largeur de 2,22 m et une masse à vide de 28,5 t. Leur capacité est de 40 places assises et de 122 places debout sur la base d'une moyenne de 4 voyageurs par m<sup>2</sup>. Elles se composent de 4 caisses reliées par 3 modules d'inter-circulation (MI). Elles disposent de deux essieux moteurs situés sous les cabines de conduite et de trois essieux porteurs situés sous les modules d'inter-circulation.

La rame impliquée dans l'incendie faisant l'objet du présent rapport porte le numéro 15.

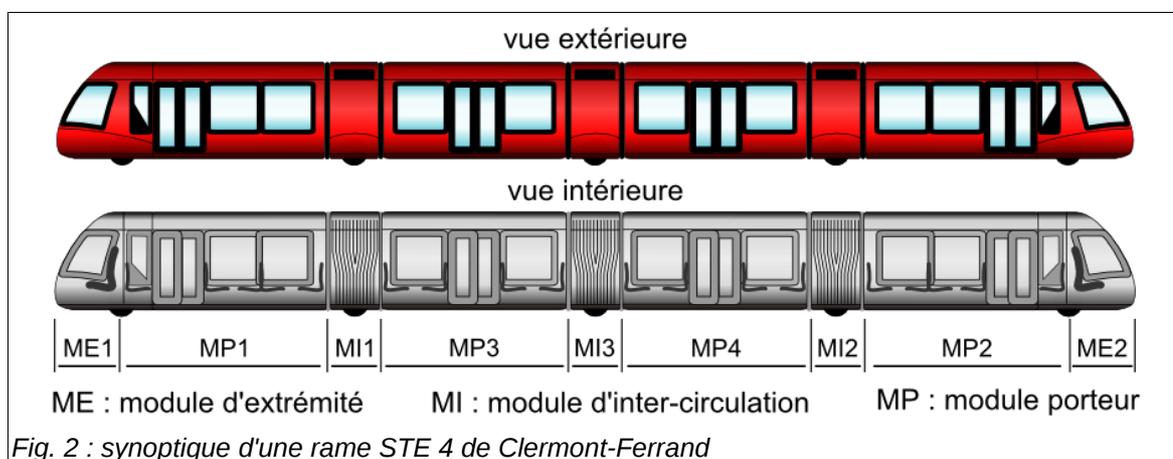


Fig. 2 : synoptique d'une rame STE 4 de Clermont-Ferrand



Fig. 3 : rame STE 4 de Clermont-Ferrand

### 2.2.2 - Les modules d'inter-circulation

Chaque module d'inter-circulation comprend :

- un cadre métallique qui en constitue l'ossature (en bleu clair sur la figure 4) et qui est relié aux caisses encadrant le module par des articulations (en bleu foncé) ;

- un essieu porteur composé de sa structure métallique (en jaune), de deux roues, de leur garde-boue, de leur pneumatique et de leur système de freinage (en rouge). Cet essieu est attaché au cadre métallique précité par une suspension et des articulations (en orange) ;
- un système de guidage fixé à l'essieu (en vert), qui s'insère dans un rail de guidage central implanté dans la chaussée.

Ces modules d'inter-circulation sont habillés, à l'intérieur, d'un soufflet en caoutchouc, et, à l'extérieur, d'une plaque en résine synthétique.

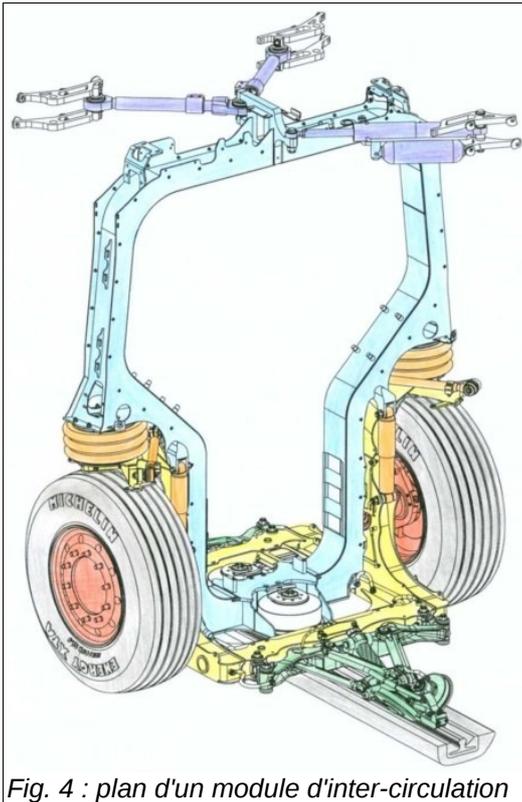


Fig. 4 : plan d'un module d'inter-circulation



Fig. 5 : photo d'un module d'inter-circulation

### 2.2.3 - Les dispositifs de freinage

Les rames du tramway de Clermont-Ferrand utilisent deux systèmes de freinage :

- un freinage électrique, par la création d'un couple résistant dans les moteurs obtenu en renvoyant en ligne ou dans des résistances sur le toit de la rame, l'électricité de ces moteurs qui fonctionnent alors en générateurs ;
- un freinage mécanique, par le serrage de plaquettes de frein sur un disque. Il existe un tel dispositif par roue, soit 10 au total sur l'ensemble de la rame.

### 2.2.4 - Le dispositif de freinage mécanique

Lorsqu'un freinage mécanique est sollicité, la commande est transmise à un cylindre pneumatique qui actionne un ensemble piston/bielle. La bielle déplace

alors un bloc à l'intérieur de la chambre de l'étrier, qui pousse les plaquettes de frein contre le disque. Ce bloc d'actionnement des plaquettes comprend un mécanisme interne permettant de rattraper automatiquement le jeu dû à l'usure progressive des plaquettes<sup>1</sup>. L'annexe 2 du présent rapport détaille le fonctionnement de ces différentes pièces.

Lorsque le conducteur arrête de solliciter le freinage mécanique, un ressort du cylindre pneumatique rappelle le piston et la bielle dans leur position initiale. Le bloc d'actionnement précité est alors déplacé en sens inverse et les plaquettes de frein sont desserrées.

Des joints d'étanchéité sont disposés entre la chambre de l'étrier et la bielle d'une part, et entre la chambre et le bloc d'actionnement des plaquettes d'autre part.

Un couvercle directement vissé sur l'étrier, sans joint, permet d'accéder à l'intérieur de la chambre et au bloc d'actionnement des plaquettes.

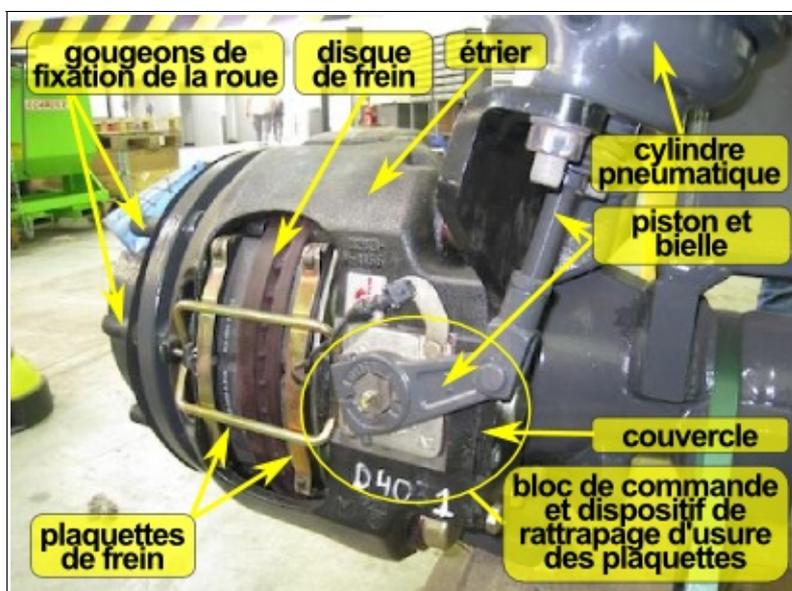


Fig. 6 : photo d'un système de freinage mécanique



Fig. 7 : bloc d'actionnement

Chaque frein dispose également d'un système d'anti-blocage de sécurité des roues (ABS). Les dysfonctionnements de ce système sont signalés au conducteur par une alarme en cabine.

## 2.3 - Les dispositions réglementaires ou normatives concernant le comportement au feu des matériaux

Les critères de choix, au regard de leur comportement au feu, des matériaux pouvant être utilisés pour la construction des matériels roulants ferroviaires de grande ligne, urbains ou de banlieue, font l'objet d'une norme référencée NF F 16-101.

<sup>1</sup> Lorsque cette usure atteint un seuil prédéfini, une alarme en cabine de conduite en informe le conducteur.

L'application de cette norme est obligatoire<sup>2</sup>, en matière de transports guidés urbains de personnes, à toutes les rames devant circuler dans un tunnel présentant une longueur supérieure à 300 m, ou supérieure à 100 m lorsque la capacité des rames concernées excède 500 voyageurs<sup>3</sup>. Dans les autres cas, la norme précitée constitue une règle de l'art, d'application volontaire.

Pour évaluer le comportement au feu des matériaux, cette norme croise deux critères :

- la réaction au feu pour laquelle elle définit cinq classes, de M0 pour les matériaux incombustibles à M4 pour les matériaux facilement inflammables ;
- l'indice de fumée pour lequel elle retient six classes selon l'opacité et la toxicité des fumées émises lors de leur combustion, de F0 à F5.

En fonction de la nature de l'organe à fabriquer, et selon que le matériel roulant a vocation ou non à circuler fréquemment en tunnel, la norme précise un objectif de classement « feu-fumée » des matériaux pouvant être utilisés. Ainsi, par exemple, les matériaux constituant les plafonds doivent avoir un classement M0-F0.

Lorsqu'elle a été établie en 1988, soit il y a 23 ans, l'état des techniques de fabrication ne permettait pas d'atteindre tous les objectifs de classement que cette norme fixe. Elle définit donc, en sus de ces objectifs, des exigences minimales de classement. Ainsi, elle permet l'utilisation de matériaux classés M0-F5 ou M1-F4 pour les plafonds. Aujourd'hui, bien que les techniques précitées aient progressé, les industriels font toujours usuellement référence, dans leurs dossiers, à ces exigences minimales plutôt qu'aux objectifs de classement.

Par ailleurs, la norme susvisée a vocation à être remplacée par la norme européenne EN 45545 relative à la protection contre les incendies dans les véhicules ferroviaires, qui a, aujourd'hui, le statut de norme expérimentale.

---

2 Dans les conditions prévues par l'arrêté du 22 novembre 2005 relatif à la sécurité dans les tunnels des systèmes de transport public guidés urbains de personnes.

3 Calculée sur la base d'un taux d'occupation de 6 voyageurs par mètre carré.



## 3 - Compte rendu des investigations effectuées

### 3.1 - Résumé du témoignage du conducteur

*Le résumé présenté ci-dessous est établi par l'enquêteur technique sur la base des déclarations (orales ou écrites) dont il a eu connaissance. Il ne retient que les éléments ayant paru utiles pour éclairer la compréhension et l'analyse des événements et pour formuler des recommandations. Il peut exister des divergences entre ces déclarations et des constats ou analyses présentés par ailleurs.*

#### **Le témoignage :**

Le conducteur a pris son service vers 6h30 au terminus « Champratel ». A la station « Campus », une alarme orange « code 709 » s'est déclenchée, lui signalant un dysfonctionnement du système ABS\*. Il a poursuivi son service à la vitesse réduite de 35 km/h et contacté le PCC\* pour l'en informer.

Alors qu'il repartait de la station « Lycée Lafayette », il a remarqué une dame qui venait de descendre et observait avec insistance le soufflet d'inter-circulation proche de sa cabine, le soufflet du module « MI\*1 ». Tout en continuant à rouler, il s'est retourné et a aperçu une fumée blanchâtre à l'intérieur de la rame.

Arrivé à la station « La Pardieu Gare », il a appelé le PCC et a, ensuite, conduit la rame en voie de garage une trentaine de mètres plus loin. Il a baissé le pantographe, est sorti de la rame et a tenté, avec deux extincteurs, de circonscire l'incendie en dirigeant leur jet entre le soufflet d'inter-circulation et la paroi d'habillage d'où sortaient les fumées.

### 3.2 - Relevé des dégâts occasionnés

#### 3.2.1 - Les dégâts subis par le matériel roulant

L'incendie a touché toute la longueur de la rame n°15, la réduisant à l'état d'épave. Les dégâts qu'elle a subis sont détaillés dans le tableau constituant la figure 8.

Il en ressort que :

- le foyer de l'incendie se situe au niveau du module « MI1 », sur son côté gauche ;
- les dégâts causés par l'incendie sont sensiblement plus importants sur le côté gauche de la rame, ce qui peut résulter du vent qui venait de l'Ouest au moment de cet incendie ;
- les soufflets d'inter-circulation des trois modules « MI1 », « MI2 » et « MI3 » sont entièrement brûlés ;

---

\* Terme figurant dans la glossaire

- seul le pneumatique gauche du module « MI1 » a totalement brûlé, tous les autres pneumatiques, y compris le pneumatique droit du module précité, ne sont que modérément touchés.

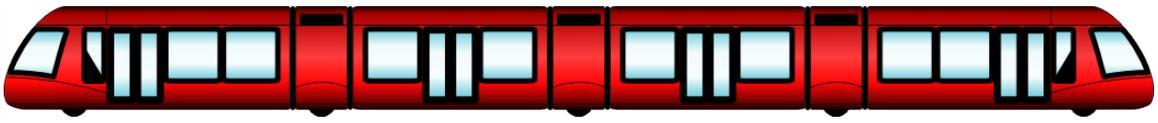
									
Désignation du module	↑ ME 1	↑ MP1	↑ MI1	↑ MP3	↑ MI3	↑ MP4	↑ MI2	↑ MP2	↑ ME2
structure	peu touchée	touchée	touchée	touchée	peu touchée	peu touchée	peu touchée	peu touchée	non touchée
Habillage extérieur	non touché	Gauche : brûlé en totalité Droit : brûlé en hauteur	brûlé	Gauche : brûlé en totalité Droit : brûlé en hauteur	brûlé	brûlé en hauteur	brûlé	peu touché	pas touché
sièges	brûlés en totalité	brûlés en totalité	s.o.	brûlés en totalité	s.o.	brûlés en totalité	s.o.	brûlés en surface	non touchés
pneus	peu touchés	s.o.	Gauche brûlé Droit brûlé en surface	s.o.	peu touchés	s.o.	Peu touchés	s.o.	peu touchés
vitres	explosées	explosées	s.o.	explosées	s.o.	explosées	s.o.	explosées	non touchées
portes	s.o.	déformées	s.o.	déformées	s.o.	déformées	s.o.	peu touchées	s.o.
toiture	peu touchée	affaissée	s.o.	affaissée	s.o.	affaissée	s.o.	affaissée	non touchée
Soufflet inter-circulation	s.o.	s.o.	brûlé en totalité	s.o.	brûlé en totalité	s.o.	brûlé en totalité	s.o.	s.o.
photos flanc gauche									
photos flanc droit									

Fig. 8 : tableau récapitulatif des dégâts occasionnés au matériel roulant

### 3.2.2 - Les dégâts causés à l'infrastructure

Comparativement, l'infrastructure n'a subi que peu de dégâts.

La ligne aérienne de contact (LAC), qui permet d'alimenter les rames en 750 volts continus, a été fragilisée par la chaleur dégagée lors de l'incendie. Elle a dû être remplacée sur une longueur de 65 mètres.

La résine, appelée corkelast®, qui permet de fixer le rail de guidage dans son ornière, a également été endommagée et a dû être remplacée sur une longueur de 20 mètres.

### **3.3 - L'exploitation des enregistreurs de données et des photos**

#### **3.3.1 - L'exploitation des vidéos de l'intérieur de la rame n°15**

Chaque rame du réseau de Clermont-Ferrand dispose de huit caméras qui en filment l'intérieur. Les enregistrements correspondants sont stockés sur un disque dur situé dans le module d'extrémité « ME1 ». Ceux effectués dans la rame n°15 le jour de l'incendie ont pu être récupérés. Leur analyse permet de reconstituer les éléments de chronologie suivants<sup>4</sup> :

- à 7h11, la rame est à l'arrêt à la station « Lycée Lafayette ». Un voyageur en descend et se dirige vers l'avant du quai. Juste avant le départ de la rame de cette station, ce voyageur a un comportement pouvant suggérer qu'il veut ré-entrer ou frapper à une vitre ;
- à 7h13, la rame arrive à la station terminus « La Pardieu Gare ». Le conducteur en sort par la porte de droite, jette un coup d'œil et retourne dans sa cabine ;
- à 7h14, la rame redémarre, s'arrête en arrière-gare. Les lumières intérieures s'éteignent et le conducteur sort par la porte de droite ;
- entre 7h20 et 7h21, une flamme apparaît très fugitivement, à quatre reprises, à l'extérieur de la rame, dans la moitié inférieure gauche du soufflet d'inter-circulation « MI1 » ;
- à 7h24, des flammes sont visibles à l'intérieur de la rame, dans la partie supérieure gauche de ce soufflet ;
- entre 7h24 et 7h26, des flammes se développent à l'intérieur de la rame ; elles restent encore localisées du côté gauche du module « MI1 ».

Compte tenu de l'heure, lorsque l'éclairage intérieur de la rame est éteint, seules les sources de lumière extérieures ou provenant de l'incendie lui-même peuvent apparaître sur les vidéos. L'obscurcissement progressif de ces sources de lumière sur les images permet d'apprécier la cinétique de développement des fumées à l'intérieur de cette rame. Ainsi :

- à l'avant, les fumées en plafond rendent impossible toute visibilité, y compris de l'incendie lui-même, en environ une demi-minute après l'apparition des premières flammes à l'intérieur de la rame ;
- à l'arrière, cette durée est de l'ordre d'une minute et demie ;
- des fumées denses envahissent la moitié inférieure de la rame un peu plus de deux minutes après l'apparition des premières flammes.

#### **3.3.2 - L'exploitation des photos prises lors de l'incendie**

Des agents de l'exploitant ont pris des photos avec leur téléphone portable au cours de l'incendie. Les heures de prise de vue associées à ces photos permettent de disposer des informations complémentaires suivantes :

---

<sup>4</sup> L'horodatage incrusté sur les vidéos est issu d'une horloge autonome non synchronisée avec les autres enregistreurs (BMA, enregistrement des conversations du PCC). Les heures indiquées dans ce paragraphe ont en conséquence été recalées pour être synchronisées avec ces autres enregistreurs.

- à 7h24, des flammes se développent sur le flanc gauche du module « MI1 » et s'évasent le long de la toiture des modules « MP\*1 » et « MP3 » adjacents ;
- de 7h24 à 7h39, l'incendie s'étend progressivement à toute la longueur de la rame ;
- de 7h39 à 7h44, l'incendie atteint son intensité maximale ; il est combattu par les pompiers ;
- de 7h44 à 7h52, l'incendie est progressivement éteint, les dernières flammes étant situées au niveau du module « MI1 » ;
- les pompiers continuent d'arroser la rame calcinée pendant une vingtaine de minutes après l'extinction des dernières flammes.



Fig. 9 : écloSION de l'incendie à 7h24



Fig. 10 : développement de l'incendie à 7h32



Fig. 11 : propagation de l'incendie à 7h36, rame vue de face



Fig. 12 : propagation de l'incendie de 7h39 à 7h44

Au total, l'incendie a duré une demi-heure et a atteint son maximum d'intensité en un quart d'heure. Le constructeur estime qu'environ 1 850 kg de matières ont été brûlés, dont plus de 50% sont des matériaux composites : résine polyester des habillages, plastiques et thermoplastiques. Cette combustion a ainsi détruit sensiblement 1 kg de matières par seconde.

\* Terme figurant dans le glossaire

### **3.3.3 - L'exploitation du boîtier de mémorisation et d'affichage de la rame n°15**

Les rames de tramway sont dotées d'un dispositif enregistrant certains paramètres d'exploitation, notamment la distance parcourue, la vitesse de la rame, l'activation, par le conducteur, de la traction, du freinage de service ou du freinage d'urgence, l'utilisation des avertisseurs sonores. Cet enregistreur est communément appelé boîtier de mémorisation et d'affichage (BMA) sur les rames du tramway de Clermond-Ferrand.

L'exploitation de ce dispositif révèle que le jour de l'accident, huit secondes après l'arrivée, à 7h03, de la rame n°15 à la station « Campus », trois alarmes référencées « 701 », « 702 » et « 709 », visant à signaler un dysfonctionnement du système de freinage, se sont déclenchées quasi-simultanément.

### **3.3.4 - L'exploitation des échanges radio et téléphoniques du PCC**

Les échanges radio et téléphoniques du PCC sont enregistrés. Leur examen apporte les éléments d'information ci-après :

- à 7h05, le conducteur de la rame n°15 informe le PCC du déclenchement de l'alarme « 709 », après être reparti de la station « Campus ». Le PCC rappelle 4 minutes plus tard pour lui préciser qu'il devra en conséquence changer de rame au terminus « Champratel » ;
- à 7h22, le PCC alerte les pompiers d'un départ de fumée sur une rame, susceptible de se transformer en incendie. Il leur demande d'intervenir ;
- à 7h37, le PCC confirme aux pompiers arrivés sur place, par l'intermédiaire du responsable local d'incident, que l'énergie électrique de traction est coupée et qu'ils peuvent arroser la rame.

## **3.4 - Les constatations relevées sur les équipements**

### **3.4.1 - Les constatations effectuées sur le système de freinage**

Les investigations conduites après l'incendie dans le cadre de l'expertise judiciaire ont montré que la roue gauche du module « MI1 » ne pouvait plus tourner librement autour de son axe, car ses plaquettes de frein étaient serrées sur le disque. Le bleuissement de ce disque suggère qu'il ait pu atteindre une température de 850 degrés Celsius.

Par ailleurs, les dispositifs de freinage mécanique des différents essieux de la rame concernée ont été démontés et ont fait l'objet d'un examen dont les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Localisation du frein		Etat du disque et des plaquettes	Etat de la chambre de l'étrier et de son couvercle	Etat du bloc d'actionnement et du mécanisme de rattrapage de l'usure	Etat de l'axe de la bielle
ME1	gauche		Corrodés	Corrodés	Corrodé
	droit	Légèrement rayés	Fortement corrodés	Fortement corrodés Rattrapage du jeu non fonctionnel présentant des traces d'efforts anormaux	
MI1	gauche	Fortement rayés Disque bleui	Fortement corrodés Présence de résidus de boue	Fortement corrodés Rattrapage du jeu non fonctionnel	Bloqué Corrodé
	droit	Disque bleui	Corrodés	Corrodés	
MI2	gauche				
	droit	Rayés	Fortement corrodés	Fortement corrodés Mauvais usinage d'une pièce	
MI3	gauche		Fortement corrodés Présence d'eau	Fortement corrodés	Une pièce interne incorrectement serrée
	droit		Serrage inadéquat du couvercle	Corrodés	
ME2	gauche	Disque bleui	Corrodés Présence d'eau	Corrodés	
	droit	Légèrement rayés			

Fig. 13 : constatations faites sur les systèmes de freinage de la rame n°15

Il ressort des investigations ainsi effectuées que :

- huit des dix dispositifs de serrage des freins de la rame n°15 présentent une corrosion, plus ou moins avancée, de la chambre de l'étrier, du bloc d'actionnement des plaquettes et du dispositif de rattrapage de l'usure de ces plaquettes. Il est hautement vraisemblable que le blocage en position serrée des plaquettes de frein de la roue gauche du module « MI1 » est dû à cette corrosion ;
- celle-ci a été provoquée par des projections d'eau présente sur la plate-forme, et notamment d'eau salée de dé-verglacage, compte tenu des traces de chlore identifiées lors de l'examen chimique des boues retrouvées dans la chambre de l'étrier de la roue gauche du module « MI1 » ;
- cette eau peut s'infiltrer dans la chambre de l'étrier par son couvercle, aucun plan de joint entre ces deux pièces ne s'étant révélé étanche ;
- une telle corrosion de la chambre de l'étrier, du bloc d'actionnement des plaquettes et du dispositif de rattrapage de l'usure des plaquettes, ainsi que l'absence d'étanchéité du couvercle touchent l'ensemble du parc de tramway de Clermont-Ferrand ;
- les dispositifs de serrage des freins présents sur ces rames ne sont pas tous identiques. Certains disposent d'un graisseur permettant d'injecter de la graisse dans la chambre de l'étrier et d'éviter ainsi des grippages ; d'autres ne sont pas dotés d'un tel équipement.



Fig. 14 : plaquette du frein gauche du module MI1



Fig. 15 : bloc d'actionnement du frein droit du module MI2



Fig 16 : chambre de l'étrier du frein droit du module MI2

### 3.4.2 - Les constatations portant sur le dispositif d'alarmes de dysfonctionnement du système de freinage

Trois alarmes sont apparues quasi-simultanément juste après l'arrivée de la rame n°15 à la station « Campus » :

- l'alarme « 701 – défaut freinage ABS », concernant l'essieu du module ME1 ;
- l'alarme « 703 – défaut freinage ABS », visant l'essieu du module MI1 ;
- et l'alarme « 709 – défaut freinage ABS 2 essieux », ayant trait aux essieux des modules MI1 et ME1.

Ces alarmes sont prévues pour fonctionner lorsque les capteurs de vitesse ou l'alimentation en air du circuit de freinage des essieux correspondants présentent des défauts. Elles utilisent les informations issues des capteurs des systèmes ABS.

Sur le module « MI1 », les fils électriques reliant les capteurs aux cartes électroniques ont été retrouvés détruits sur la roue gauche, et en court-circuit et soudés entre eux sur la roue droite.

Il est vraisemblable que ces destructions se sont produites lors de la surchauffe du frein de ce module, ce qui explique le déclenchement de l'alarme « 703 » correspondante. Comme les capteurs ABS de ce module « MI1 » sont également branchés sur la carte électronique gérant le freinage du module d'extrémité « ME1 », l'alarme « 701 » relative à ce dernier module s'est également déclenchée quasi-simultanément, entraînant ainsi l'alarme « 709 ».

Dans cette hypothèse, le blocage du frein et sa surchauffe ont débuté avant que la rame n'arrive à la station « Campus ».

Les consignes<sup>5</sup> opérationnelles associées aux deux premières alarmes n'imposent aucune action immédiate. En revanche, lorsque l'alarme « 709 » est déclenchée, les automatismes limitent la vitesse maximale de la rame à 35 km/h et les

<sup>5</sup> Il s'agit de consignes établies par l'exploitant, qui renvoient à un document du constructeur. Ce document prévoit de réaliser une « fin de course à vitesse réduite » en réaction à une alarme « 709 », une fin de course étant définie ainsi : « suivant le jugement de la gravité de la panne par le conducteur, celui-ci fait évacuer immédiatement le véhicule et rentre au dépôt à vitesse réduite, ou alors celui-ci continue jusqu'à la station suivante à vitesse réduite puis fait évacuer le véhicule avant de rentrer au dépôt ».

consignes requièrent d'évacuer les voyageurs à la prochaine station et de rentrer au dépôt. Elles soulignent également que les performances de freinage peuvent être dégradées. Dans le cas présent, l'évacuation n'a pas été réalisée, et le PCC n'a pas informé le conducteur d'une possible dégradation des capacités de freinage de la rame.

Aucune de ces trois alarmes n'a cependant vocation à signaler une éventuelle surchauffe d'un essieu et les consignes opérationnelles établies par l'exploitant ne prévoient, en conséquence, aucune action préventive à cet égard.

## **3.5 - L'analyse de l'exploitation et de la maintenance**

### **3.5.1 - L'exploitation de la rame impliquée**

Compte tenu des prévisions de température et de gel la veille de l'incendie, l'exploitant, la société T2C\*, a fait rouler la rame n°15 durant toute la nuit depuis 1h47, afin, notamment, d'éviter que du gel ne se forme sur les lignes aériennes de contact (LAC) et compromette la reprise de l'exploitation commerciale. Dans un tel cas, la rame franchit les stations sans s'y arrêter.

Par ailleurs, le jour de l'incendie, la rame n°15 a effectué l'ouverture de la ligne entre la station « Campus » et le terminus « La Pardieu Gare ». Lors d'une telle opération, le conducteur ne doit pas dépasser la vitesse de 30 km/h et doit être attentif à toute anomalie.

Au moment où l'incendie est survenu, la conduite de la rame en cause était assurée par un agent de la société T2C habilité à la conduite du tramway depuis le 11 juillet 2006 et dont la dernière formation de recyclage avait eu lieu le 16 juin 2009.

### **3.5.2 - La maintenance de la rame**

La rame n°15 avait environ 148 000 km<sup>6</sup> au moment de l'accident. Les deux dernières visites de maintenance préventive dont elle avait fait l'objet avaient eu lieu le 6 octobre 2009 à 135 950 km (visite dite « gamme A » comprenant des contrôles limités) et le 26 mai 2009 à 123 128 km (visite dite « gamme D » comprenant des opérations d'entretien approfondies). A l'occasion de cette dernière visite, l'étrier du frein gauche du module d'inter-circulation « MI2 » a été remplacé.

La périodicité des opérations d'entretien de la rame concernée respecte le plan de maintenance du constructeur et l'examen des comptes rendus depuis sa mise en service ne fait pas ressortir de dysfonctionnement particulier, hormis le changement d'étrier précédemment cité.

Il convient de noter que le plan de maintenance ne prévoit aucune opération de démontage ou de graissage des dispositifs d'actionnement des freins, ces dispositifs étant considérés opérationnels pour toute la durée de vie de la rame.

\* Terme figurant dans le glossaire

<sup>6</sup> La rame avait 147 827 km le 24 décembre 2009, deux jours avant l'accident.

## 3.6 - L'examen des dossiers de sécurité du matériel roulant

### 3.6.1 - L'analyse des risques

Les dossiers de sécurité, que doit réglementairement produire l'AOT\* auprès du préfet compétent préalablement à la mise en service d'un nouveau système de transport public guidé, doivent contenir une analyse des risques reposant sur une identification des événements susceptibles de mettre en cause la sécurité, appelées événements redoutés (ER). Ils doivent, en outre, exposer les mesures prises pour y remédier.

Pour le tramway de Clermont-Ferrand, l'analyse des risques a été réalisée par le constructeur Lohr. Trois des événements redoutés qui y ont été retenus correspondent à un incendie tel que celui qui s'est déroulé le 26 décembre 2009, à savoir :

- une source de chaleur non détectée au niveau des organes de freinage (événement référencé ER 45) ;
- la propagation d'un feu dans l'habitacle (événement référencé ER 46) ;
- le dégagement et la propagation de fumées de pièces en combustion (événement référencé ER 47).

Pour justifier que les mesures prises pour faire face à ces événements redoutés étaient satisfaisantes, le constructeur a principalement fait valoir qu'il utilisait des organes standards de freinage des véhicules de transport routier et qu'il respectait les exigences de protection contre l'incendie applicables au transport routier de personnes.

Cette démonstration a été retenue par le bureau Véritas qui a réalisé, en qualité d'expert ou organisme qualifié agréé (EOQA), l'expertise indépendante du matériel roulant prévue par la réglementation<sup>7</sup> préalablement à sa mise en service.

Toutefois, l'examen de l'analyse des risques produite par la société Lohr Industrie et de l'expertise du bureau Véritas fait ressortir que la transposition à un tramway des exigences et des équipements issus des transports routiers n'a pas complètement tenu compte tant des spécificités et des règles propres aux systèmes de transports guidés que de certains choix de conception des rames Translohr. En particulier, il n'apparaît pas que les conditions particulières de sollicitation du système de freinage mécanique d'un tramway par rapport à celles d'un véhicule routier aient été analysées et que la proximité entre les soufflets d'inter-circulation et les organes de freinage aient été prise en compte.

### 3.6.2 - Le comportement au feu des matériaux

Les dossiers de sécurité relatifs au tramway de Clermont-Ferrand détaillent le comportement au feu des matériaux utilisés dans ses rames, d'une part, par rapport aux exigences de la directive européenne 95/28/CE applicables aux véhicules routiers de transport de personnes et d'autre part, par rapport à la norme NF F 16-101 applicable aux matériels roulants ferroviaires. Il en ressort que :

\* Terme figurant dans le glossaire

<sup>7</sup> Décret n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés.

- la totalité des matériaux respecte les exigences de la directive européenne 95/28/CE du 24 octobre 1995 relative au comportement au feu des matériaux utilisés dans l'aménagement intérieur de certaines catégories de véhicules à moteur ;
- plusieurs matériaux ne respectent pas la norme NF F 16-101, et notamment les éléments constitutifs des plafonds, les revêtements des sièges ainsi que certains capotages et habillages extérieurs.

Deux points sont à noter :

- les soufflets d'inter-circulation, qui ont joué un rôle dans l'éclosion de l'incendie, présentent un classement M2-F3, conforme au classement minimal prévu par la norme NF F 16-101 lorsque l'état des techniques de fabrication ne permet pas d'atteindre l'objectif requis ;
- les éléments de plafond, qui ont vraisemblablement joué un rôle dans la propagation de l'incendie, présentent un classement M2-F3. La norme NF F 16-101 est cependant plus exigeante : elle prévoit un objectif de classement M0-F0 ou, si l'état des techniques de fabrication ne permet pas d'atteindre cet objectif, un classement minimal M0-F5 ou M1-F4.

Par ailleurs, des échantillons du garde-boue en matériaux composites et du soufflet d'inter-circulation en caoutchouc ont été expertisés après l'incendie :

- pour le garde-boue, des fumées de pyrolyse apparaissent vers 400 °C et s'enflamment vers 450 °C ;
- pour le soufflet d'inter-circulation, des fumées de pyrolyse apparaissent vers 380 °C et s'enflamment vers 420 °C.

## **3.7 - La prise en compte des retours d'expérience**

### **3.7.1 - L'organisation des relations entre les acteurs**

Les relations contractuelles entre le syndicat mixte des transports de Clermont-Ferrand (SMTC), la société T2C et l'industriel Lohr Industrie sont régies par :

- deux marchés conclus entre le SMTC et le groupement Lohr<sup>8</sup>, le premier pour la fourniture des principaux éléments de la ligne de tramway, dont les 20 premières rames, le second pour la fourniture de 6 rames supplémentaires. Les systèmes de freinage des 26 rames sont couverts par la garantie de ces marchés jusqu'à l'atteinte de 250 000 km ;
- un contrat de délégation de service public (DSP) entre le SMTC et la société T2C intégrant notamment l'exploitation et la maintenance du tramway. Tous les aspects de la maintenance préventive, curative et corrective du matériel roulant sont, en particulier, couverts par ce marché.

Il n'existe pas de lien contractuel entre l'exploitant et l'industriel, et le lien entre l'AOT et l'industriel s'éteindra à l'achèvement de la garantie.

---

<sup>8</sup> Le groupement Lohr est composé de l'industriel Lohr industrie, mandataire, et des sociétés ETF, SOBEA et CEGELEC.

A ce jour, au quotidien, les anomalies identifiées par l'exploitant sont remontées à l'industriel et à l'AOT au travers de « fiches d'évènement » (FEV). Ces fiches permettent également de formaliser les suites qui y sont données par les trois acteurs. Des réunions tripartites sont organisées tous les deux mois, au cours desquelles les anomalies constatées font l'objet d'un examen.

### **3.7.2 - Les évènements précurseurs survenus à Clermont-Ferrand**

Précédemment à l'incendie, l'exploitant a signalé 12 cas d'étriers de frein grippés au constructeur, au travers de fiches d'évènement respectivement établies en novembre 2007, août 2008 et novembre 2009, en s'inquiétant des conséquences et des solutions à envisager. En outre, au moins 4 autres cas de défaut du système de rattrapage de jeu des plaquettes de frein apparaissent dans la base de données relative à la maintenance tenue par l'exploitant. Les premiers dysfonctionnements ont été constatés sur des rames ayant parcouru de l'ordre de 50 000 km.

L'industriel Lohr Industrie a alerté son fournisseur d'essieux, qui a lui même informé le fabricant d'étriers auquel il fait appel. Les conclusions de ce fabricant, après une campagne de mesures et des investigations, ont été remises en cause par Lohr Industrie. Des investigations complémentaires avaient été décidées en novembre 2009, mais n'avaient pas encore été réalisées lorsque l'incendie considéré s'est produit.

Par ailleurs, un début d'incendie a eu lieu le 28 décembre 2008 sur la rame n°20. La cause en avait été attribuée, à l'époque, à l'inflammation d'un chiffon retrouvé coincé dans l'étrier de frein du module d'inter-circulation « MI2 ». Aucune investigation complémentaire ne semble cependant avoir été effectuée.

### **3.7.3 - Les accidents comparables survenus sur d'autres réseaux**

Un incendie de deux rames de métro survenu à la station « Simplon » sur la ligne 4 de la RATP, le 6 août 2005, a fait l'objet d'une enquête du BEA-TT dont le rapport a été publié en décembre 2006.

Alors qu'une rame venait de s'arrêter à la station en tunnel précitée, l'un de ses pneumatiques a continué à tourner, s'est échauffé, a éclaté et a engendré un incendie qui s'est propagé aux pneumatiques de la rame immobilisée sur la voie adjacente.

La cause de cet incendie est une double défaillance de l'appareillage électrique de traction. Elle est sans aucun lien avec celle de l'incendie analysé dans le présent rapport.

Toutefois, s'agissant du développement de l'incendie, aucune propagation longitudinale de voiture à voiture n'a eu lieu lors du sinistre survenu à la station « Simplon ». De fait, les dégâts à l'intérieur de la voiture la plus touchée ont été importants à proximité du foyer, mais sont restés modérés dans le reste de la voiture. Sur la ligne concernée du métro parisien, les rames avaient une longueur de 90 m et étaient composées de 6 voitures de 15 m chacune. Le comportement

au feu de leurs matériaux répondait aux exigences de la norme NF F 16-101, à l'exception des pneumatiques.

Le tableau ci-après donne quelques éléments de comparaison entre les deux sinistres concernant le développement et la propagation de l'incendie.

	Incendie survenu le 6 août 2005 à la station « Simplon » à Paris	Incendie survenu le 26 décembre 2009 à Clermont-Ferrand
Matière brûlée	~ 580 kg	~ 1 850 kg
Matière brûlée par seconde	~ 176 g/s	~ 1 000 g/s
Propagation longitudinale à l'intérieur de la rame	~ 5 à 10 m	~ 25 m

*Fig. 17 : données sur le développement des incendies survenus à Paris en août 2005 et à Clermont-Ferrand en novembre 2009*

## 4 - Déroulement de l'accident et des secours

### 4.1 - La situation avant l'accident

Pendant la nuit du 25 au 26 décembre 2009, la température dans l'agglomération clermontoise est descendue à  $-3,5^{\circ}\text{C}$  et l'exploitant de la ligne de tramway, la société T2C, a fait rouler la rame n°15 toute la nuit afin, notamment, d'éviter que du gel ne se forme sur les lignes aériennes de contact (LAC) et compromette la reprise de l'exploitation commerciale. Le ciel était légèrement voilé et un léger vent d'Ouest soufflait à 6 km/h. Il explique la dissymétrie des dégâts causés par l'incendie à l'extérieur de la rame. Le changement de conducteur est intervenu à 6h30 au terminus « Champratel ».

Les paragraphes suivants présentent la chronologie la plus probable des événements, en prenant comme temps de référence «  $t_0$  » l'apparition des premières flammes à 7h24. Le détail de cette chronologie est présenté dans l'annexe n°3 du présent rapport.

### 4.2 - L'échauffement du système de freinage

- Plus de 21 minutes avant les premières flammes, alors que la rame n°15 n'a pas encore atteint la station « Campus », sans qu'il soit possible d'être plus précis, les plaquettes du frein gauche de l'essieu du module « MI1 » se bloquent en position serrée sur les disques et entraînent un échauffement progressif des pièces en contact et de leur environnement immédiat. Les fils électriques reliant les capteurs du système ABS aux cartes électroniques se dégradent ;
- 21 minutes avant les premières flammes, alors que la rame n°15 est à l'arrêt à la station « Campus », les alarmes « 701 », « 703 » et « 709 » se déclenchent dans la cabine de conduite. Ces alarmes signalent un défaut du système de freinage ABS sur les essieux des deux modules MI1 et ME1 pouvant entraîner une baisse d'efficacité du freinage. En repartant de la station, le conducteur informe le PCC du déclenchement de ces alarmes et précise qu'il roule, en conséquence, à la vitesse maximale de 35 km/h. Quatre minutes après cet appel, le PCC lui demande de changer de rame lorsqu'il sera de retour au terminus « Champratel » ;
- 12 minutes avant les premières flammes, à l'arrêt à la station « Lycée Lafayette », le dernier voyageur descend de la rame, remonte le long du quai, semble observer le module « MI1 » et vouloir appeler l'attention du conducteur. Après être reparti de la station, le conducteur se retourne et constate une fumée blanchâtre à l'intérieur de sa rame ;
- 11 minutes avant les premières flammes, le conducteur, arrivé au terminus « La Pardieu Gare », descend rapidement de sa rame, jette un œil au module « MI1 » et, constatant de la fumée, retourne dans la cabine pour prévenir le PCC ;
- 9 minutes avant les premières flammes, en accord avec le PCC, le conducteur avance sa rame d'une trentaine de mètres sur la voie d'arrière-gare, abaisse le

pantographe, sort de la cabine et arrose avec deux extincteurs la roue gauche de l'essieu du module « MI1 » d'où sort de la fumée ;

- 2 à 3 minutes avant les premières flammes, le PCC demande l'intervention des pompiers, puis coupe l'énergie électrique de traction de l'ensemble de la ligne.

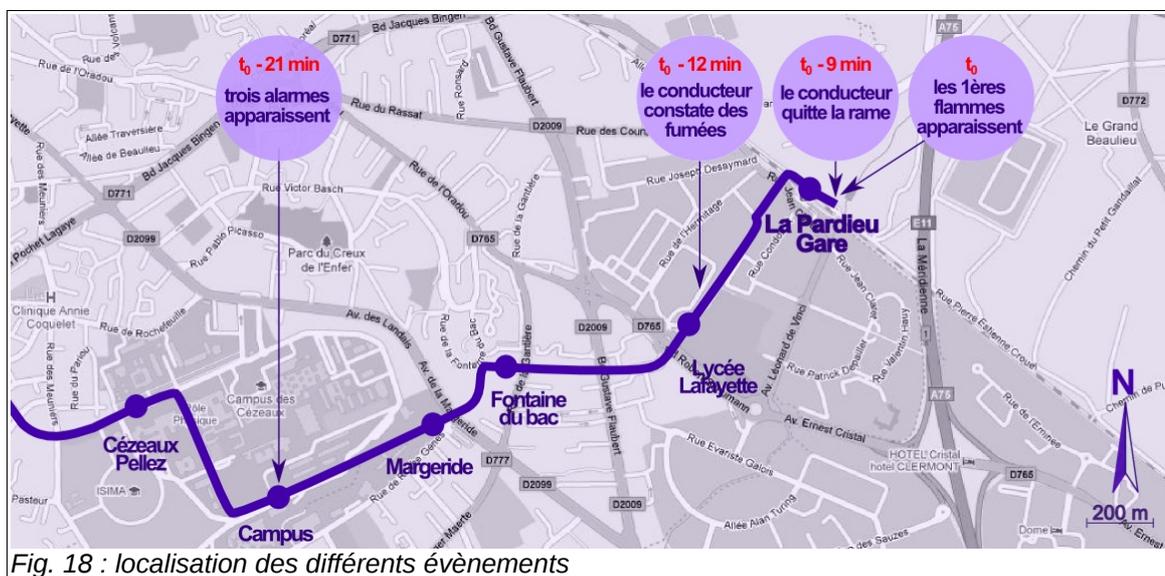


Fig. 18 : localisation des différents évènements

Au cours de cette période, la température du disque de frein a pu atteindre 850 °C. La chaleur dégagée par rayonnement a entraîné la pyrolyse du garde-boue constitué de matières synthétiques ainsi que du soufflet d'inter-circulation en caoutchouc. Ce sont vraisemblablement ces gaz de pyrolyse que le voyageur et le conducteur ont perçu 12 minutes avant les premières flammes.

### 4.3 - L'éclosion et le développement de l'incendie

- à 7h24, les gaz de pyrolyse s'enflamment. Des flammes apparaissent à l'intérieur de la rame, dans la moitié supérieure gauche du soufflet du module d'inter-circulation « MI1 », d'autres flammes se développent sur le flanc gauche de ce module et s'évasent le long de la toiture des modules « MP1 » et « MP3 » adjacents ;
- à l'intérieur de la rame, des fumées denses se stratifient rapidement. Elles atteignent l'avant de la rame en une demi-minute, l'arrière de la rame en une minute et demie et la moitié inférieure de cette rame au droit du module « MI1 » en 2 minutes ;
- durant les 14 minutes qui ont suivi l'éclosion des premières flammes, l'incendie s'étend, par le plafond, à tout le linéaire de la rame. Les pompiers commencent à l'arroser 13 minutes après les premières flammes ;
- 14 minutes après les premières flammes, et pendant 5 minutes, l'incendie est à son maximum d'intensité ;
- 28 minutes après ces premières flammes, l'incendie est circonscrit ;

- environ 50 minutes après les premières flammes, les pompiers arrêtent d'arroser la rame.

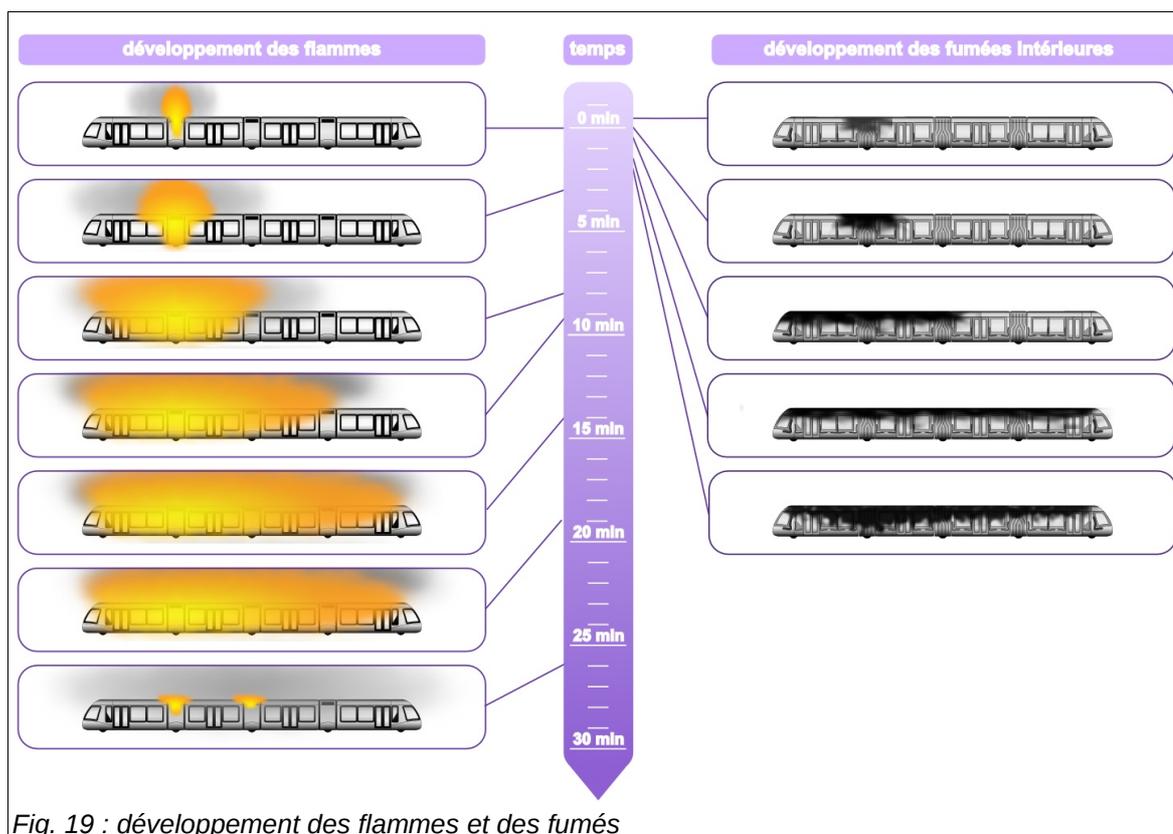


Fig. 19 : développement des flammes et des fumées

#### 4.4 - Les actions post-accident

L'exploitation de la ligne de tramway a repris entre le terminus « Champratel » et la station « Campus » à partir de 8h32 le jour même. Après la réparation des dégâts causés à l'infrastructure, qui ont été décrits dans le paragraphe 3.2.2, le tronçon entre la station « Campus » et le terminus « La Pardieu Gare » a été remis en exploitation le 14 janvier 2010, soit 19 jours après l'incendie.

En janvier 2010, une alarme de détection d'une température anormale à proximité des roues a été rendue opérationnelle sur l'ensemble des rames par une mise à jour de logiciels. Elle utilise les dispositifs en place de contrôle de pression des pneumatiques et se déclenche en cas d'augmentation inhabituelle de cette pression, en considérant qu'une telle augmentation peut être due à un échauffement anormal.

En juin 2010, tous les étriers des rames du tramway de Clermont-Ferrand ont été remplacés par des nouveaux étriers dits de 2<sup>e</sup> génération.



## 5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

### 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.

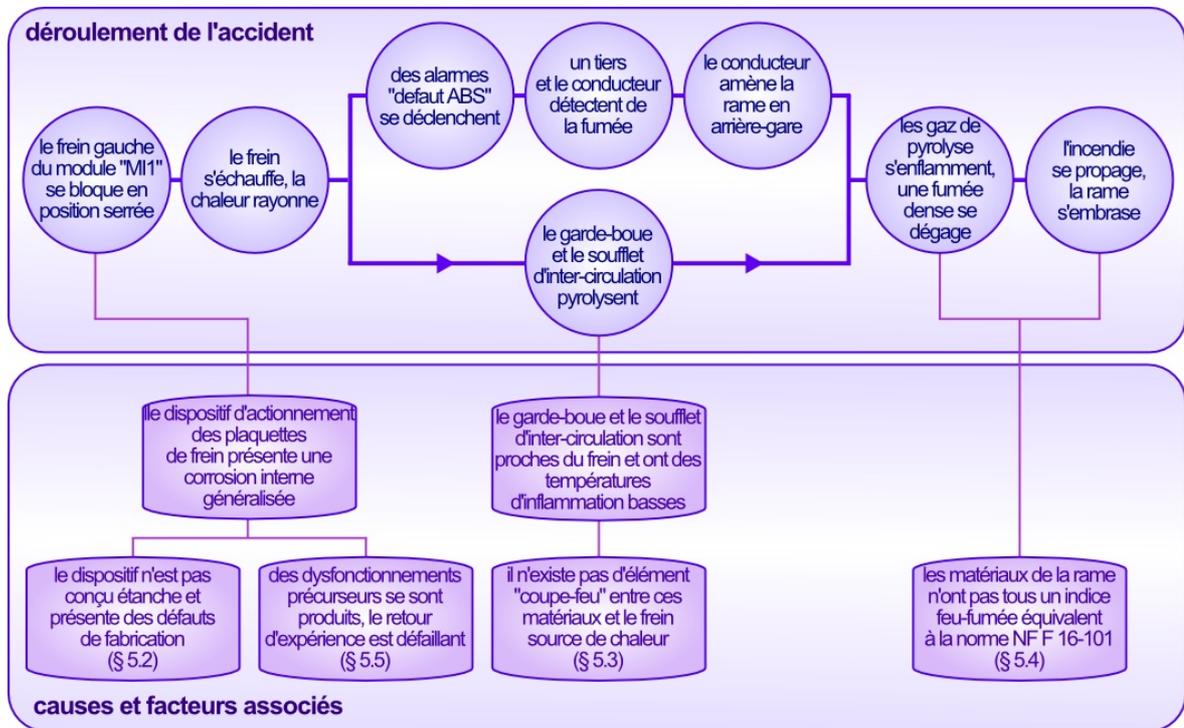


Fig. 20 : déroulement de l'accident, causes et facteurs associés

Cette analyse amène le BEA-TT à formuler des recommandations préventives dans les quatre domaines suivants :

- la conception des freins mécaniques de la rame ;
- l'isolation entre l'espace voyageurs et le système de freinage mécanique ;
- le comportement au feu des matériaux de la rame ;
- l'organisation du retour d'expérience.

### 5.2 - La conception des freins mécaniques de la rame

Les couvercles des chambres des étriers dans lesquelles se déplacent les blocs d'actionnement des plaquettes de frein n'assuraient pas une étanchéité suffisante sur les rames du tramway de Clermond-Ferrand lorsque l'incendie analysé s'est produit. L'eau de la chaussée, notamment l'eau de déverglaçage, s'infiltrait dans ces chambres et occasionnait une corrosion des éléments s'y trouvant, à savoir les parois des chambres elles-mêmes, le bloc d'actionnement, son dispositif de

ratrapage de jeu, l'axe de la bielle. Cette corrosion a entraîné des dysfonctionnements de plusieurs freins dès 50 000 km. Elle est à l'origine du blocage en position serrée du frein impliqué dans l'incendie de la rame n°15.

Différents scénarios, non exhaustifs et susceptibles de se cumuler, peuvent expliquer ce blocage :

- après un freinage, l'axe de la bielle à l'intérieur de la chambre concernée s'est grippé et n'a pas commandé le retour du bloc d'actionnement des plaquettes ;
- au cours des freinages successifs, le dispositif corrodé de ratrapage d'usure des plaquettes a réduit le jeu entre ces plaquettes et le disque jusqu'à le rendre nul et occasionner un freinage continu ;
- après un freinage, le bloc d'actionnement des plaquettes s'est grippé à l'intérieur de la chambre et n'est pas revenu en position initiale malgré la commande de la bielle.

Tous les étriers ont été remplacés par des étriers de 2<sup>e</sup> génération en juin 2010. Cependant, l'étanchéité et le graissage des chambres de ces étriers se sont révélés toujours insatisfaisants. Un nouvel étrier, présentant une chambre étanche, a alors été conçu, mais, au 31 juillet 2011, il n'était pas encore déployé sur les rames.

Par ailleurs, le constructeur envisage d'installer prochainement, sur toutes les rames, deux sondes de température à proximité immédiate de chaque disque de frein, sondes qui déclencheront une alarme dans la cabine de conduite.

Ces deux mesures sont de nature à assurer une protection adaptée contre l'évènement redouté ER 45, consistant en une source de chaleur non détectée au niveau des freins, qui a été identifiée dans l'analyse de risques initiale : la première en réduisant l'occurrence d'un échauffement intempestif des freins, la seconde en permettant sa détection précoce.

Le BEA-TT émet, en conséquence, les deux recommandations suivantes :

**Recommandation R1 (SMTC, T2C, Lohr Industrie) :**

**Mettre en œuvre, dans les meilleurs délais, le programme d'implantation de capteurs de température à proximité immédiate des freins de toutes les rames de tramway ainsi que le programme de remplacement des étriers de frein actuels par des étriers dont la chambre accueillant le dispositif d'actionnement des plaquettes est étanche. Vérifier à différents kilométrages l'efficacité de la solution technique retenue au regard des risques de corrosion.**

**Recommandation R2 (Lohr Industrie) :**

**Mettre en œuvre sur les rames de tramway de même type que celles de Clermont-Ferrand, susceptibles d'équiper d'autres réseaux français, notamment sur celles qui circuleront en tunnel, des dispositions identiques ou similaires en termes d'étanchéité des systèmes de frein et de détection de leur échauffement.**

### 5.3 - L'isolation entre la source de chaleur et l'espace voyageurs

Les soufflets d'inter-circulation sont des parois, séparant l'intérieur de l'extérieur d'une rame, relativement sensibles aux risques d'incendie. Ils se décomposent, en effet, par pyrolyse à des températures peu élevées en émettant des fumées inflammables et potentiellement toxiques à l'intérieur du compartiment voyageurs. Ils créent un appel d'air oxygénant les flammes lorsqu'ils crèvent sous l'effet de la chaleur. Ils participent à la propagation de l'incendie compte tenu de leur classement « feu-fumée » relativement peu élevé<sup>9</sup>.

Or les soufflets des rames de Translohr, contrairement à ceux de la plupart des autres véhicules de transports guidés ou routiers existants, se situent à proximité immédiate des systèmes de freinage mécanique, sources potentielles de chaleur.

Un garde-boue s'intercale bien entre ces deux éléments, mais il ne constitue pas une surface d'isolation satisfaisante susceptible d'éviter ou de retarder le transfert de la chaleur. En effet, les températures de pyrolyse et d'inflammation du matériau qui compose ce garde-boue sont relativement faibles ainsi que le souligne le paragraphe 3.6.2. De fait, elles sont proches de celles du soufflet d'inter-circulation et les gaz se dégageant d'un garde-boue sous l'effet de la chaleur sont susceptibles de s'enflammer, participant ainsi à l'éclosion de l'incendie.

Cette analyse conduit le BEA-TT à émettre la recommandation suivante :

#### Recommandation R3 (Lohr Industrie) :

**Améliorer, pour les futurs matériels roulants, notamment ceux circulant en tunnel, l'isolation entre la source de chaleur constituée par les freins et l'espace voyageurs.**



Fig. 21 : localisation de la roue, du soufflet et du garde-boue



Fig. 22 : localisation du frein, du soufflet et du garde-boue

## **5.4 - Le comportement au feu des matériaux de la rame**

### **5.4.1 - Le cas particulier des soufflets d'inter-circulation**

En début d'incendie, alors que celui-ci était encore circonscrit à la partie gauche du soufflet d'inter-circulation du module « M11 », des gaz de pyrolyse et de la fumée se sont accumulés au niveau du plafond de la rame.

Le développement de cette fumée, provenant du soufflet, a été très rapide, et elle aurait constitué le premier facteur de danger pour les usagers si leur évacuation avait été retardée ou rendue difficile.

La norme NF F 16-101 ne prévoit pas un objectif explicite de classement des matériaux des dispositifs d'inter-circulation. Selon que l'on considère qu'une inter-circulation est assimilable à un plafond, une paroi ou un matériau extérieur, l'objectif requis peut varier entre M0-F0 et M2-F2. Lorsqu'un composant assure plusieurs fonctions, il devrait respecter l'objectif le plus exigeant, en l'occurrence l'objectif M0-F0 des matériaux du plafond.

Cependant, comme l'état des techniques de fabrication à l'époque où la norme précitée est parue, à savoir 1988, ne permettait pas d'atteindre tous les objectifs de classement qu'elle fixe, il y a été défini des exigences minimales de classement, dont certaines visent explicitement les membranes des dispositifs d'inter-circulation. Ainsi, elle admet pour ces membranes l'utilisation de matériaux M0-F5 ou M1-F1 ou M2-F3.

A ce jour, les soufflets d'inter-circulation usuellement utilisés sur les tramways et métros présentent un classement M2-F3 conforme à l'exigence minimale mais moindre que l'objectif.

*Le BEA-TT encourage les industriels à développer et utiliser pour les soufflets d'inter-circulation des matériaux offrant une réaction au feu et un indice de fumées plus performants que ceux des dispositifs actuels de ce type.*

### **5.4.2 - Les autres matériaux de la rame**

C'est vraisemblablement l'inflammation des fumées et des gaz de pyrolyse accumulés au niveau du plafond de la rame qui est à l'origine de la propagation longitudinale de l'incendie. Cette propagation a probablement été facilitée et entretenue par la nature des matériaux, notamment en plafond, qui présentent un classement « feu-fumée » plus faible que celui prévu par la norme NF F 16-101 ainsi qu'il l'est indiqué dans le paragraphe 3.6.2.

Le BEA-TT a réalisé un état des lieux synthétique du comportement au feu des rames de tramway des réseaux français, en interrogeant les constructeurs sur la ou les normes qu'ils appliquent dans le choix de leurs matériaux. Ce comportement au feu n'est pas connu précisément pour certains matériels anciens de la gamme du Tramway Français Standard (TFS) du constructeur Alstom. Tous les autres matériels roulants respectent les exigences de la norme NF F 16-101, qu'ils relèvent de la catégorie d'utilisation dite « A1 » correspondant à une circulation en

tunnel fréquente, ou de la catégorie d'utilisation dite « A2 » relative à une circulation en tunnel peu fréquente. L'annexe 4 détaille cet état des lieux.

Dans ce cadre, les rames du tramway de Clermont-Ferrand constituent une exception. En effet, certains de leurs matériaux, notamment ceux utilisés pour les plafonds et les sièges, présentent un écart par rapport aux exigences minimales de la norme précitée.

Ces rames ne circulant pas en tunnel, l'application de cette norme relève d'une démarche volontaire ainsi qu'il l'a été souligné dans le paragraphe 2.3. Cependant, leur niveau global de sécurité, au regard des risques d'incendie, doit être au moins équivalent au niveau de sécurité des systèmes existants assurant des services comparables, en application de l'article 5 du décret n°2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés<sup>10</sup>.

Or aucune mesure particulière n'a été prise pour compenser l'écart précité et assurer ainsi, face aux risques d'incendie, un niveau de sécurité des rames Translohr globalement au moins équivalent à celui des tramways existants, alors que certains choix de conception de ces rames, notamment la localisation des essieux porteurs et de leurs freins mécaniques à proximité des soufflets d'inter-circulation, sont de nature à aggraver ces risques.

Le BEA-TT formule donc la recommandation suivante :

**Recommandation R4 (STRMTG) :**

**S'assurer, lors de la mise en service de nouvelles rames de tramway, que les matériaux qui les composent, offrent un niveau de sécurité au regard des risques d'incendie équivalent à celui requis par la norme NF F 16-101 relative au comportement au feu du matériel roulant ferroviaire.**

## 5.5 - L'organisation du retour d'expérience

Des dysfonctionnements précurseurs et répétitifs du dispositif d'actionnement des plaquettes de frein ont été identifiés dès novembre 2007, soit un an après la mise en service du premier tronçon de la ligne considérée. Ils étaient connus de l'ensemble des acteurs, y compris des sous-traitants concernés du fabricant des rames. Au moment où l'incendie analysé est survenu, les investigations étaient toujours en cours, les causes de ces dysfonctionnements n'étaient pas encore déterminées, ou du moins partagées par tous les acteurs, et les mesures correctives n'étaient pas définies. Deux constats s'imposent donc :

- la période de deux ans qui s'est écoulée depuis l'identification des premiers dysfonctionnements sans qu'il y soit remédié est totalement incompatible tant avec l'importance que revêtent les organes de freinage pour la sécurité des voyageurs qu'avec la nature, relativement simple, des investigations à effectuer pour constater une corrosion généralisée de certains composants ;
- les conséquences potentielles des dysfonctionnements constatés n'ont pas été étudiées avec la profondeur suffisante, ni mises en perspective avec l'analyse

---

<sup>10</sup> L'article 5 de ce décret est ainsi rédigé : « tout nouveau système de transport public guidé, ou toute modification d'un système existant, est conçu et réalisé de telle sorte que le niveau global de sécurité à l'égard des usagers, des personnels d'exploitation et des tiers soit au moins équivalent au niveau de sécurité existant ou à celui des systèmes existants assurant des services comparables. »

de risques initiale qui identifiait un scénario d'incendie causé par le système de freinage.

Il n'appartenait pas aux enquêteurs d'effectuer un audit du processus de retour d'expérience. Toutefois, il apparaît que, si chacun des acteurs peut se prévaloir d'avoir pris en compte à un moment ou à un autre les dysfonctionnements précurseurs, le pilotage d'ensemble des processus de sécurité n'a pas permis de déboucher, en temps utile, sur une solution, faute d'une appréhension globale des risques.

Cette situation conduit le BEA-TT à émettre la recommandation suivante :

**Recommandation R5 (SMTC, T2C, Lohr Industrie) :**

**Renforcer le pilotage et l'organisation du processus de retour d'expérience relatif au tramway de Clermont-Ferrand afin que toute anomalie de sécurité détectée fasse l'objet de mesures correctives ou palliatives dans des délais compatibles avec les risques analysés.**

Le bon fonctionnement de ce processus de retour d'expérience présente une acuité particulière sur le réseau de Clermont-Ferrand, dans la mesure où le tramway qui l'équipe constitue la tête de série du système innovant Translohr. Des problèmes de sécurité non identifiés au cours de la conception sont susceptibles d'apparaître ou de prendre une criticité non prévue, nécessitant des mesures correctives rapides. Cet état de fait vaut également pour les constituants issus de technologies routières, tels que les étriers de frein, dont on pourrait croire que l'on connaît bien les modes de défaillance, mais qui sont cependant utilisés sur une rame de tramway dans des conditions et dans un environnement spécifiques.

Il est donc important d'avoir une vigilance soutenue et de maintenir, pendant la période de rodage du système après la mise en exploitation, l'organisation pour la qualité et la sécurité mise en place sous l'égide du maître d'ouvrage lors de la conception du projet, afin de garantir une résorption rapide des problèmes rencontrés en ces domaines, et ce en liaison avec l'organisation pérenne que l'exploitant aura pu mettre en place pour exploiter et maintenir en sécurité le système.

Cette organisation transitoire, dont la durée doit être adaptée au caractère innovant du système ou de ses constituants, mérite de figurer dans les dossiers de sécurité que l'AOT doit réglementairement produire préalablement à la mise en service. Il est de plus souhaitable que les bilans qu'elle effectue soient transmis aux services de contrôle de la sécurité de l'Etat.

Pour ce qui concerne le tramway de Clermont-Ferrand, le plan de management de la sécurité du projet n'était pas explicite sur l'organisation prévue après la mise en service et l'organisation de l'exploitant en matière de sécurité était calquée sur celles, classiques, de systèmes éprouvés.

**Recommandation R6 (STRMTG) :**

**Vérifier, de façon systématique, lors de l'examen du dossier de sécurité d'un nouveau système de transport public guidé, que l'organisation pour la qualité et pour la sécurité du projet couvre bien la période allant de la mise en exploitation à la fin de la période de garantie et qu'elle est adaptée au caractère plus ou moins innovant du système ou de ses constituants.**



## 6 - Conclusions et recommandations

### 6.1 - Causes de l'accident

La cause directe de l'accident est le blocage d'un frein dû à une corrosion généralisée de son système d'actionnement des plaquettes, dont ni la conception ni la fabrication ne permettaient d'assurer l'étanchéité.

La chaleur rayonnée par l'échauffement de ce frein en position serrée a entraîné la pyrolyse du garde-boue et du soufflet d'inter-circulation situés à sa proximité immédiate. Les gaz de pyrolyse se sont ensuite enflammés et l'incendie s'est propagé à l'ensemble de la rame.

L'éclosion des flammes dans l'espace voyageurs a été favorisée par la faible distance et l'absence de pare-feu efficace entre le système de freinage et le soufflet d'inter-circulation.

La propagation de l'incendie au reste de la rame a été facilitée par la présence de matériaux n'offrant pas un niveau de protection contre les incendies équivalent à celui de la norme NF F 16-101 relative au comportement au feu des matériels roulants ferroviaires.

### 6.2 - Recommandations

L'analyse de l'accident conduit le BEA-TT à émettre les six recommandations suivantes :

#### **Recommandation R1 (SMTC, T2C, Lohr Industrie) :**

**Mettre en œuvre, dans les meilleurs délais, le programme d'implantation de capteurs de température à proximité immédiate des freins de toutes les rames de tramway ainsi que le programme de remplacement des étriers de frein actuels par des étriers dont la chambre accueillant le dispositif d'actionnement des plaquettes est étanche. Vérifier à différents kilométrages l'efficacité de la solution technique retenue au regard des risques de corrosion.**

#### **Recommandation R2 (Lohr Industrie) :**

**Mettre en œuvre sur les rames de tramway de même type que celles de Clermont-Ferrand, susceptibles d'équiper d'autres réseaux français, notamment sur celles qui circuleront en tunnel, des dispositions identiques ou similaires en termes d'étanchéité des systèmes de frein et de détection de leur échauffement.**

#### **Recommandation R3 (Lohr Industrie) :**

**Améliorer, pour les futurs matériels roulants, notamment ceux circulant en tunnel, l'isolation entre la source de chaleur constituée par les freins et l'espace voyageurs.**

**Recommandation R4 (STRMTG) :**

**S'assurer, lors de la mise en service de nouvelles rames de tramway, que les matériaux qui les composent, offrent un niveau de sécurité au regard des risques d'incendie équivalent à celui requis par la norme NF F 16-101 relative au comportement au feu du matériel roulant ferroviaire.**

**Recommandation R5 (SMTC, T2C, Lohr Industrie) :**

**Renforcer le pilotage et l'organisation du processus de retour d'expérience relatif au tramway de Clermont-Ferrand afin que toute anomalie de sécurité détectée fasse l'objet de mesures correctives ou palliatives dans des délais compatibles avec les risques analysés.**

**Recommandation R6 (STRMTG) :**

**Vérifier, de façon systématique, lors de l'examen du dossier de sécurité d'un nouveau système de transport public guidé, que l'organisation pour la qualité et pour la sécurité du projet couvre bien la période allant de la mise en exploitation à la fin de la période de garantie et qu'elle est adaptée au caractère plus ou moins innovant du système ou de ses constituants.**

*Par ailleurs, le BEA-TT encourage les industriels à développer et utiliser pour les soufflets d'inter-circulation des matériaux présentant une réaction au feu et un indice de fumées plus performants que ceux des dispositifs actuels de ce type.*

# ANNEXES

Annexe 1 : décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : fonctionnement du dispositif d'actionnement des plaquettes de frein

Annexe 3 : chronologie reconstituée des évènements survenus à la rame n°15

Annexe 4 : état des lieux du comportement au feu des rames de tramway



# Annexe 1 : décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE  
ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Bureau d'enquêtes sur les accidents  
de transport terrestre

La Défense, le 4 janvier 2010

Le Directeur

DECISION BEA-TT 2010-001

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

Vu la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 modifiée relative à la sécurité des infrastructures et systèmes de transport et notamment son titre III sur les enquêtes techniques ;

Vu le décret n° 2004-85 du 26 janvier 2004 modifié relatif aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre ;

Vu les circonstances de l'incendie d'une rame du tramway survenu le 26 décembre 2009 à la station La Pardieu gare en voie de garage à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), et l'accord du ministre chargé des transports,

DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 susvisée, est ouverte concernant l'incendie d'une rame du tramway survenu le 26 décembre 2009 à la station La Pardieu gare en voie de garage à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

Le directeur du BEA-TT

  
Jean-Gérard KOENIG



## Annexe 2 : fonctionnement du dispositif d'actionnement des plaquettes de frein

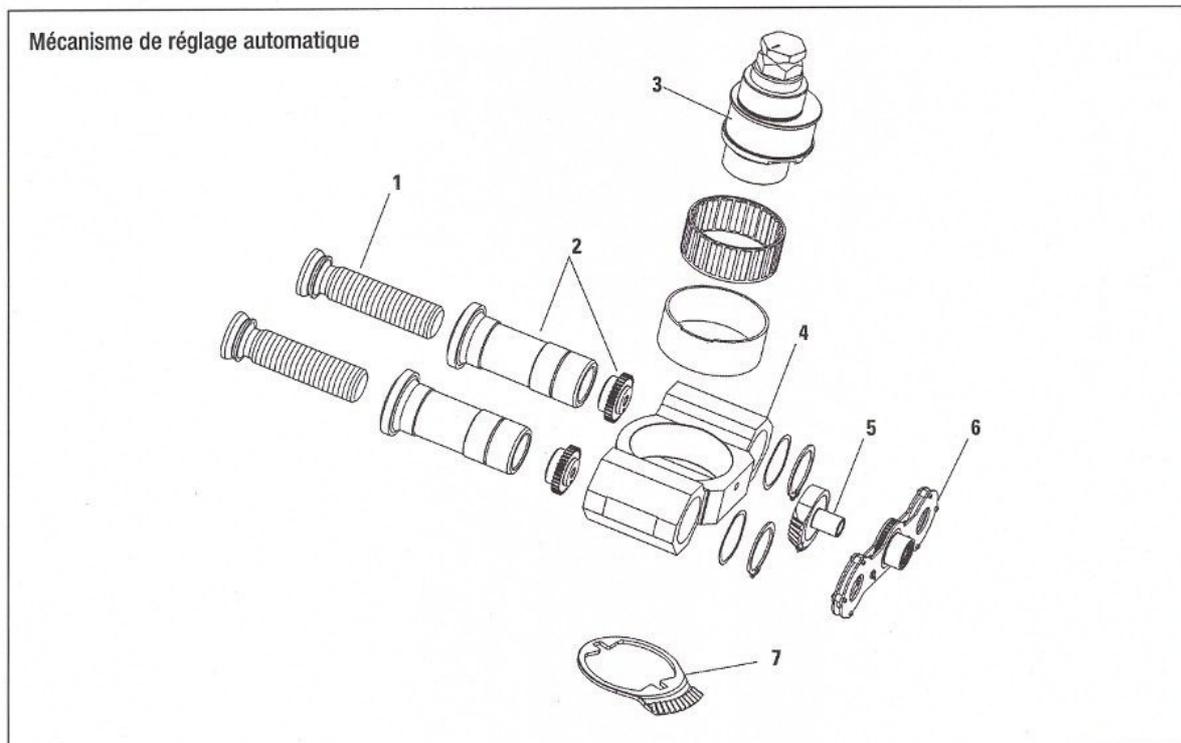


Fig. 2.3

### Mécanisme de réglage automatique

Réf	Description
1	Piston de commande
2	Manchon et engrenage du dispositif de réglage
3	Arbre excentrique
4	Bloc de commande
5	Engrenage conique
6	Boîte (train d'engrenage du dispositif de réglage)
7	Segment d'engrenage du dispositif de réglage

## Mécanisme de réglage automatique

### (Rattrapage automatique du jeu)

À l'intérieur de l'étrier se trouve le mécanisme qui permet de rattraper le jeu dû à l'usure progressive des plaquettes des freins. Lors de l'utilisation du frein, le mécanisme est actionné automatiquement. Le rattrapage du jeu se fait en quatre phases.

#### Phase 1 (enclenchement de l'arbre excentrique)

- Le levier de commande se déplace et l'arbre excentrique tourne.
- Le bloc de commande avance avec les manchons et les pistons du dispositif de réglage (Fig. 2-4).
- L'arbre excentrique **A** se met à tourner et rattrape le jeu "h" entre l'intérieur du segment d'engrenage du dispositif de réglage **B** et les côtés de la languette située sur l'arbre même (Fig. 2-5).

#### Phase 2 (dispositif de rattrapage du jeu)

- Le segment d'engrenage du dispositif de réglage se met à tourner, ce qui entraîne la rotation de l'engrenage conique du dispositif de réglage **C** (Fig. 2-5).
- La rotation de l'engrenage conique du dispositif de réglage, à travers le limiteur de couple à bille, fait tourner l'arbre du dispositif de réglage. La rotation est enfin transmise à l'engrenage central de la boîte par le paller unidirectionnel.
- La rotation de l'engrenage central fait tourner à travers son train d'engrenage les deux manchons du dispositif de réglage.

Selon l'état d'usure des plaquettes, deux cas se présentent:

#### Cas A:

Le jeu entre les plaquettes et le disque est correct: aucun réglage n'est nécessaire;

#### Cas B:

Le jeu entre les plaquettes et le disque est excessif: un réglage est nécessaire.

#### Phase 3(cas A)

- Lors de la première phase, les plaquettes entrent en contact avec le disque avant que les manchons ne commencent à tourner, et la force de serrage **F** (freinage) augmente.
- La force de serrage produit un frottement des filetages entre les pistons **A** et les manchons **B** du dispositif de réglage en même temps que sous la tête à bride des manchons. (Fig. 2-6)

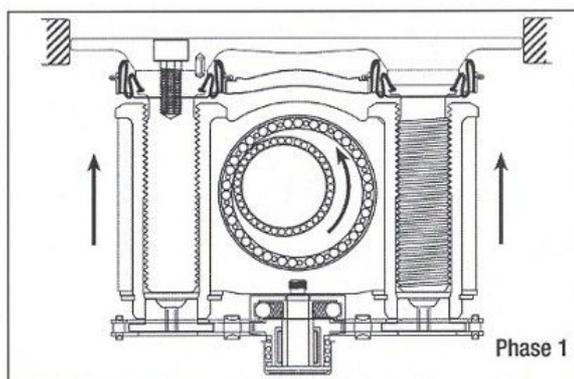


Fig. 2.4

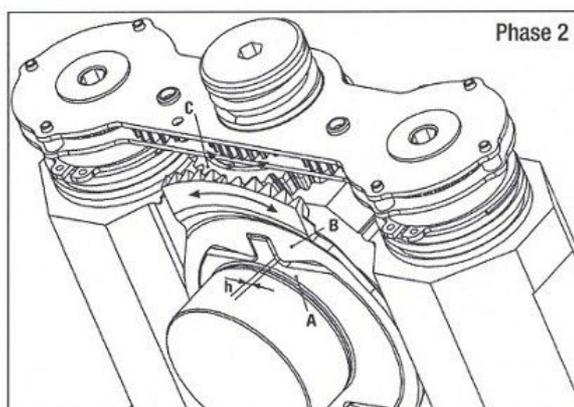


Fig. 2.5

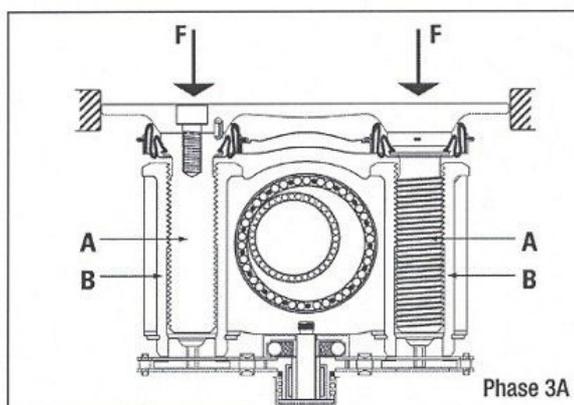


Fig. 2.6

- Les forces de frottement empêchent les manchons du dispositif de réglage de tourner, tandis que le limiteur de couple permet à l'arbre du dispositif de réglage de tourner par rapport à

l'engrenage conique. Le train d'engrenage du dispositif de réglage est bloqué par la friction du système: aucun réglage n'a lieu. L'engrenage conique du dispositif de réglage tourne, mais il ne transmet pas le mouvement, le limiteur de couple étant bloqué.

### Phase 3 (cas B)

- j) Au cours de la première phase de la course, avant que les plaquettes n'entrent en contact avec le disque, la chaîne cinématique de la boîte d'engrenage fait tourner les manchons du dispositif de réglage.
- k) Les manchons étant accouplés aux pistons par un filetage, en tournant, ceux-ci dévissent les pistons, ce qui augmente la longueur opérationnelle 'L' des pistons et réduit la distance entre les plaquettes et le disque. (Fig. 2-7).
- l) Lorsque les plaquettes entrent en contact avec le disque, les conditions mentionnées à la phase 3 A (points g-i) sont remplies, et entraînent l'arrêt du mouvement.

### Phase 4 (freins desserrés)

- l) Lorsque les freins sont desserrés, la pression du cylindre à air est déchargée et le ressort, situé à l'intérieur de ce cylindre, rappelle le levier. L'arbre excentrique et le segment de l'engrenage de réglage tournent en sens inverse avec l'engrenage conique.
- m) Le palier unidirectionnel tourne librement, et ne transmet pas son mouvement à la boîte d'engrenage, évitant ainsi de dérégler le frein. La position pistons / manchons de réglage ne change pas tout comme le rattrapage du jeu entre le disque et les plaquettes. (Fig. 2-8).

### Amortissement

Des ressorts de compression A sont placés à l'avant et à l'arrière de la boîte d'engrenage, ce qui amortit les vibrations provoquées par la marche du véhicule. En effet, les vibrations entraîneraient des rotations pouvant altérer la distance entre disque et plaquettes. (Fig. 2-9).

### Plaque de poussée

Une caractéristique importante de la gamme DX de freins est le positionnement de la plaque de poussée dans les bouts de selle. Ce réglage est réalisé à l'usine et sous réserve que les 2 vis de blocage ne soient pas retirées de la plaque de poussée, il n'est

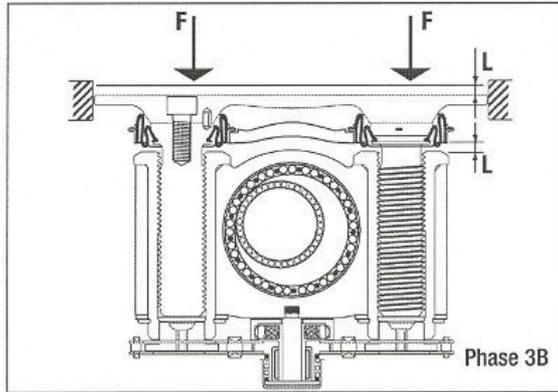


Fig. 2.7

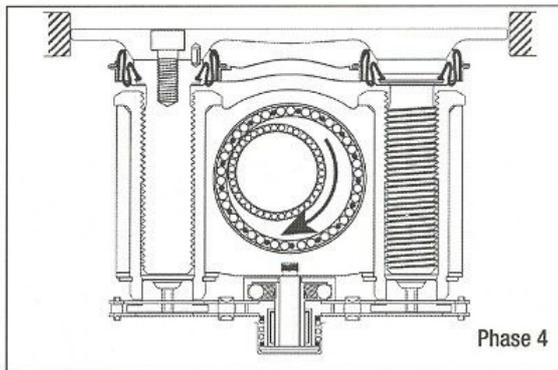


Fig. 2.8

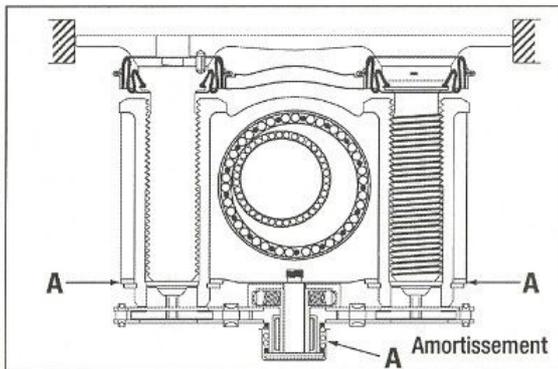
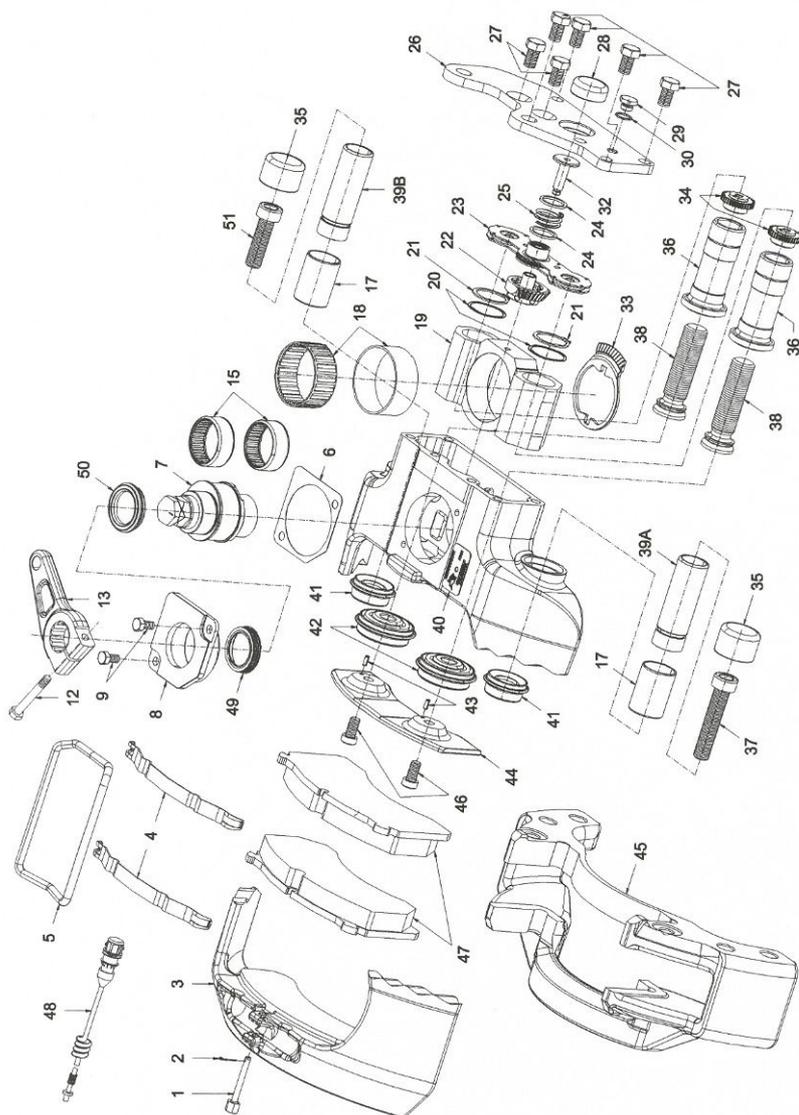


Fig. 2.9

pas nécessaire de procéder à un nouveau réglage. Cependant, si les vis sont perturbées, il convient de suivre une procédure de réglage : voir entretien Section N "Centralisation de la plaque de poussée dans la selle".



10 ArvinMeritor Frein à disque DX

## Annexe 3 : chronologie reconstituée des évènements survenus à la rame n°15

Evènement	Source	Heure correspondante	Temps par rapport aux 1 <sup>ères</sup> flammes (arrondi à +/- 1 min)
La rame arrive à la station « Campus »	BMA*	7h03' 16"	t <sub>0</sub> - 21 min
Les alarmes « 701 », « 703 », « 709 » apparaissent	BMA	7h03' 24"	t <sub>0</sub> - 21 min
La rame quitte la station « Campus »	BMA	7h04' 27"	t <sub>0</sub> - 20 min
Le conducteur appelle le PCC pour l'informer du déclenchement de l'alarme « 709 »	PCC	7h05' 08"	t <sub>0</sub> - 19 min
Le PCC appelle la rame sur les suites à donner à l'alarme « 709 » : échange de rame au terminus « Champratel »	PCC	7h09' 13"	t <sub>0</sub> - 15 min
La rame arrive à la station « Lycée Lafayette »	vidéo	7h11'	t <sub>0</sub> - 13 min
Une personne descend et semble vouloir prévenir le conducteur	vidéo	7h12' 09"	t <sub>0</sub> - 12 min
La rame quitte la station « Lycée Lafayette »	vidéo	7h12' 12"	t <sub>0</sub> - 12 min
Le conducteur se retourne et constate des fumées dans la rame	vidéo/témoign.	7h12' 27"	t <sub>0</sub> - 12 min
La rame arrive à la station « La Pardieu Gare »	vidéo	7h13' 38"	t <sub>0</sub> - 11 min
Le conducteur descend puis remonte dans sa rame	vidéo	7h13' 53" à 59"	t <sub>0</sub> - 10 min
Le conducteur appelle le PCC pour l'informer des fumées	PCC	~ 7h14'	t <sub>0</sub> - 10 min
La rame quitte la station « La Pardieu Gare »	vidéo	7h14' 41"	t <sub>0</sub> - 10 min
La rame s'arrête en arrière-gare	vidéo	7h15' 04"	t <sub>0</sub> - 9 min
Les lumières intérieures s'éteignent	vidéo	7h15' 15"	t <sub>0</sub> - 9 min
Le conducteur quitte la rame	vidéo	7h15' 48"	t <sub>0</sub> - 9 min
Le PCC appelle le conducteur dans le local « Pardieu » pour l'interroger sur l'évolution de la situation	PCC	7h17' 24"	t <sub>0</sub> - 7 min
Une flamme apparaît fugitivement à 4 reprises à l'extérieur de la rame	vidéo	de 7h20' 34" à 7h21' 24"	t <sub>0</sub> - 3 à 4 min
Le PCC appelle les pompiers (tentative infructueuse)	PCC	7h20' 59"	t <sub>0</sub> - 3 min
Le PCC joint les pompiers qui lancent leur intervention	PCC	7h21' 54"	t <sub>0</sub> - 2 min
Le PCC coupe l'énergie électrique de traction sur l'ensemble de la ligne	PCC	~ 7h22'	t <sub>0</sub> - 2 min
<b>Des flammes apparaissent à l'intérieur et à l'extérieur de la rame</b>	<b>vidéo/photos</b>	<b>7h24' 24"</b>	<b>t<sub>0</sub></b>
A l'intérieur, des fumées denses atteignent l'avant de la rame	vidéo	~ 7h25'	t <sub>0</sub> + 0,5 min
A l'intérieur, des fumées denses atteignent l'arrière de la rame	vidéo	~ 7h26'	t <sub>0</sub> + 1,5 min
A l'intérieur, les fumées denses touchent la moitié inférieure du volume de la rame	vidéo	~ 7h26' 30"	t <sub>0</sub> + 2 min
Les pompiers commencent à arroser la rame	PCC	~7h37'	t <sub>0</sub> + 13 min
L'incendie s'étend sur toute la rame	photos	de 7h24' à 7h39'	t <sub>0</sub> à t <sub>0</sub> + 14 min
L'incendie atteint son intensité maximale	photos	de 7h39' à 7h44'	t <sub>0</sub> + 14 à 19 min
L'incendie est circonscrit	photos	~ 7h52'	t <sub>0</sub> + 28 min
Les pompiers arrêtent d'arroser la rame	photos	~ 8h15'	t <sub>0</sub> + 50 min

\* Terme figurant dans le glossaire



## Annexe 4 : état des lieux du comportement au feu des rames de tramway

**Liminaire** : La norme NF F 16-101 relative au comportement au feu du matériel roulant ferroviaire en définit les catégories A1 et A2 de la manière suivante :

- matériels de catégorie A1 : tout matériel, y compris leurs cabines de conduite, dont la circulation en tunnel est fréquente ;
- matériels de catégorie A2 : matériel urbain et de banlieue, y compris leurs cabines de conduite, dont la circulation en tunnel est peu fréquente. Autorails et leurs remorques. Matériels de grandes lignes à places couchées.

### 1- Lignes de tramway dont le matériel roulant est en service au 1<sup>er</sup> juillet 2011

	Présence d'un tunnel <sup>11</sup> sur la ligne (au sens STPG)	matériels	Caractéristiques feu-fumée
Angers	non	17 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Bordeaux	non	12 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
		62 Citadis 402 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Clermont-Ferrand	non	20 Translohr STE4 (Lohr)	Respect 95/28/CE et partiellement NF F 16-101
Grenoble	non	53 TFS (Alstom)	Non connu
		50 Citadis 402 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
IdF RATP	oui (T2)	35 TFS (Alstom)	Non connu
		42 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
		21 Citadis 402 (Alstom)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Le Mans	non	23 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Lille	oui	24 Breda	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Lyon	non	73 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Marseille	oui	26 Flexity C (Bombardier)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Montpellier	non	27 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
		30 Citadis 401 (Alstom)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Mulhouse	non	27 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Nantes	non	46 TFS (Alstom)	Non connu
		33 Incentro (Bombardier)	Respect des exigences A2 de NF F 16-101
Nice	non	20 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Orléans	non	22 Citadis 301 (Alstom)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Reims	non	18 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Rouen	oui	28 TFS (Alstom)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Saint-Étienne	non	35 TFS (Alstom)	Non connu
Strasbourg	oui	26 Eurotram 33m (Bombardier)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
		10 Eurotram 43m (Bombardier)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
		41 Citadis 403 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Toulouse	non	18 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Valenciennes	non	21 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101

11 Tunnel de plus de 300 m ou tunnel de plus de 100 m si les matériels qui y circulent ont une capacité supérieure à 500 voyageurs calculée sur la base d'un taux d'occupation de 6 voyageurs au mètre carré

## 2- Futures lignes de tramway dont le matériel roulant est connu au 1<sup>er</sup> juillet 2011

	Présence d'un tunnel <sup>12</sup> sur la ligne (au sens STPG)	matériels	Caractéristiques feu-fumée
Besançon	non	19 rames 23m (CAF)	Non connu
Brest	non	20 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Dijon	non	32 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
IdF	oui	15 Translohr STE3 (Lohr)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
		28 Translhor STE6 (Lohr)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Le Havre	oui	20 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie <b>A1</b> de NF F 16-101
Montpellier	non	23 Citadis 402 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Orléans	non	21 Citadis 302 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101
Tours	non	21 Citadis 402 (Alstom)	Respect des exigences catégorie A2 de NF F 16-101

<sup>12</sup> Tunnel de plus de 300 m ou tunnel de plus de 100 m si les matériels qui y circulent ont une capacité supérieure à 500 voyageurs calculée sur la base d'un taux d'occupation de 6 voyageurs au mètre carré



Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergies et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

---

**BEA-TT - Bureau d'enquêtes sur les Accidents de transport terrestre**

Tour Voltaire 92055 - La Défense cedex  
Tél. : 33 (0)1 40 81 21 83 - Fax : 33 (0)1 40 81 21 50  
cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr  
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr