

**RAPPORT  
D'ENQUÊTE TECHNIQUE  
sur la collision entre  
un tramway de la ligne T7  
et un autocar  
survenue le 27 février 2019  
à Paray-Vieille-Poste (91)**

Juin 2020



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

Affaire n° BEATT-2019-03

**Rapport d'enquête technique  
sur la collision entre un tramway de la ligne T7 et un autocar  
survenue le 27 février 2019 à Paray-Vieille-Poste (91)**

## **Bordereau documentaire**

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la collision entre un tramway de la ligne T7 et un autocar survenue le 27 février 2019 à Paray-Vieille-Poste (91)

N° ISRN : EQ-BEAT--20-04--FR

Proposition de mots-clés : accident, autocar, gaz naturel comprimé, tramway, déraillement

### **Avertissement**

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre des articles L. 1621-2 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.



# 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 - Les conditions météorologiques.....	16
2.2 - La ligne de tramway T7.....	16
2.3 - Les rames de la ligne de tramway T7.....	16
2.4 - La ligne de bus 91.10.....	17
2.5 - La zone de l'accident.....	18
2.5.1 - Le gestionnaire routier.....	18
2.5.2 - Les caractéristiques générales du carrefour.....	18
2.6 - L'organisation du retour d'expérience prévue par la réglementation.....	20
<b>3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....</b>	<b>23</b>
3.1 - L'état des lieux à l'arrivée des secours.....	23
3.2 - Résumé des témoignages.....	24
3.2.1 - Le témoignage du conducteur de l'autocar.....	24
3.2.2 - Le témoignage du conducteur de la rame de tramway.....	25
3.3 - Le carrefour.....	25
3.3.1 - L'aménagement et la signalisation.....	25
3.3.2 - La visibilité au carrefour.....	26
3.3.3 - Le fonctionnement des feux de circulation.....	27
3.3.4 - L'enregistrement du contrôleur de feux.....	32
3.4 - L'autocar et son conducteur.....	32
3.4.1 - Les caractéristiques de l'autocar.....	32
3.4.2 - Les dégâts occasionnés au véhicule.....	34
3.4.3 - Le conducteur de l'autocar.....	35
3.4.4 - Les passagers de l'autocar.....	36
3.4.5 - Le trajet d'approche de l'autocar.....	36
3.5 - La rame de tramway et son conducteur.....	37
3.5.1 - Les caractéristiques de la rame et sa maintenance.....	37
3.5.2 - Les dégâts occasionnés à la rame.....	38
3.5.3 - Le conducteur de la rame.....	38
3.5.4 - Les passagers de la rame.....	38
3.5.5 - Le trajet d'approche du tramway.....	39

3.6 - Approfondissement des investigations sur l'accidentalité du carrefour.....	41
3.6.1 - Le rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation.....	41
3.6.2 - Le suivi dans le cadre du comité des gestionnaires de la ligne T7.....	42
3.6.3 - Le suivi dans le cadre des réunions périodiques d'exploitation.....	44
3.6.4 - Les collisions intervenues précédemment sur le carrefour.....	44
3.6.5 - Les freinages d'urgence.....	45
3.6.6 - L'accident du 16 avril 2019.....	46
3.6.7 - Le suivi par ADP de l'accidentalité sur son réseau routier.....	46
3.7 - Approfondissement des investigations : les consignes RATP de franchissement du carrefour.....	47
3.8 - Les suites données à l'accident.....	47
<b>4 - RESTITUTION DU DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....</b>	<b>49</b>
4.1 - La situation avant l'accident.....	49
4.2 - Le déroulement de l'accident.....	49
4.3 - Alerte et organisation des secours.....	52
4.4 - Bilan de l'accident.....	53
<b>5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....</b>	<b>55</b>
5.1 - Le schéma des causes et des facteurs associés.....	55
5.2 - Les causes de l'accident.....	56
5.3 - La sensibilisation des conducteurs des lignes de transports publics routiers.....	56
5.4 - L'aménagement et la signalisation du carrefour n° 38, les principes de fonctionnement des feux de circulation.....	57
5.4.1 - L'aménagement et la signalisation du carrefour n° 38.....	57
5.4.2 - La coordination des feux de circulation.....	57
5.4.3 - Les matrices de sécurité des feux de circulation.....	59
5.5 - La conduite anticipative chez les conducteurs de tramway.....	60
5.6 - Le suivi de l'accidentalité par les gestionnaires d'infrastructures.....	60
5.6.1 - Le suivi de l'accidentalité du carrefour n° 38 et de la ligne T7.....	60
5.6.2 - Le suivi de l'accidentalité sur le réseau routier géré par ADP.....	62
5.7 - La formation des conducteurs de véhicules de transport en commun roulant au GNC.....	62
<b>6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>65</b>
6.1 - Conclusions.....	65
6.2 - Recommandations.....	65
6.3 - Invitations.....	66
<b>ANNEXES.....</b>	<b>67</b>
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	69
Annexe 2 : Le risque d'incendie et d'explosion pour les autobus et autocars motorisés au GNC.....	70



# Glossaire

- **ADP** : Aéroports De Paris
- **BSPP** : Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris
- **CD94** : Conseil Départemental du Val-de-Marne
- **Cerema** : Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
- **CETU** : Centre d'Etude des TUnnels
- **CNESOR** : Commission Nationale d'Evaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers
- **FU** : Freinage d'Urgence
- **GART** : Groupement des Autorités Responsables de Transport
- **GNC** : Gaz Naturel Comprimé
- **GNV** : Gaz Naturel pour Véhicules
- **IDF Mobilités** : Île-de-France Mobilités
- **IISR** : Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière
- **Ineris** : Institut national de l'environnement industriel et des risques
- **INRS** : Institut National de Recherche et de Sécurité
- **ONISR** : Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière
- **OQA** : Organisme Qualifié Agréé
- **PC** : Poste Central
- **RATP** : Régie Autonome des Transports Parisiens
- **RSE** : Règlement de Sécurité de l'Exploitation
- **SAC** : Signal d'Aide à la Conduite
- **SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours
- **STPG** : sécurité des transports publics guidés
- **STRMTG** : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
- **UTP** : Union des Transports Publics et ferroviaires
- **UVP** : Unité de Véhicule Particulier



## Résumé

Le mercredi 27 février 2019 vers 13 h 20, sur la commune de Paray-Vieille-Poste (91), une rame de la ligne de tramway T7, circulant en direction du terminus « Villejuif – Louis Aragon », entre en collision avec un autocar circulant sur la rue Marcel Albert en direction du nord. L'autocar circulait dans le cadre de l'exploitation de la ligne régulière 91.10 du réseau de bus francilien.

Sous le choc, la rame déraile de deux de ses trois bogies. Les conséquences corporelles de cet accident sont d'un blessé hospitalisé pendant cinq jours et de six blessés légers parmi les passagers de l'autocar, ainsi que de quatre blessés légers parmi les passagers du tramway.

La cause directe de l'accident est le franchissement de l'intersection par l'autocar alors que la signalisation (feux routiers) lui imposait l'arrêt.

La non-perception des feux routiers par le conducteur de l'autocar, l'attention du conducteur du tramway portée à un véhicule venant en sens inverse de l'autocar et l'absence de freinage d'urgence de la rame ont contribué à la collision.

L'analyse de l'accident conduit le BEA-TT à émettre trois recommandations et six invitations portant sur :

- la sensibilisation des conducteurs des lignes de transports publics routiers ;
- l'aménagement et la signalisation de l'intersection entre la rue Marcel Albert et la plateforme du tramway (carrefour n° 38), ainsi que les principes de fonctionnement des feux de circulation ;
- la conduite anticipative chez les conducteurs de tramway ;
- le suivi de l'accidentalité par les différents gestionnaires d'infrastructures.

Dans le cadre de cette enquête, le BEA-TT a également analysé les enjeux de sécurité liés à la motorisation des véhicules au gaz naturel, dont l'autocar accidenté était équipé. Bien que le mode de propulsion de l'autocar n'ait pas joué de rôle dans l'accident, cette analyse conduit le BEA-TT à émettre une recommandation et une invitation portant sur la formation des conducteurs de véhicules de transport en commun roulant au gaz naturel comprimé.



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

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

Le mercredi 27 février 2019 vers 13 h 20, sur la commune de Paray-Vieille-Poste (91), une rame de la ligne de tramway T7, circulant en direction du terminus « Villejuif – Louis Aragon », entre en collision avec un autocar circulant sur la rue Marcel Albert en direction du nord. L'autocar circulait dans le cadre de l'exploitation de la ligne régulière 91.10 du réseau de bus francilien.

Sous le choc, la rame déraile de deux de ses trois bogies et s'arrête contre la bordure du terre-plein central de la rue Marcel Albert après avoir parcouru une douzaine de mètres. L'autocar est positionné par son conducteur sur le trottoir après avoir parcouru environ 25 m.

## **1.2 - Bilan humain et matériel**

Les conséquences corporelles de cet accident sont d'un blessé hospitalisé pendant cinq jours et de six blessés légers parmi les passagers de l'autocar, ainsi que de quatre blessés légers parmi les passagers du tramway.

La rame de tramway a subi des dégâts importants mais réparables, essentiellement au niveau de la cabine de conduite (vitres, carrosserie, châssis, liaisons électriques, etc.).

L'autocar a subi des dégâts importants mais réparables, essentiellement au niveau de l'arrière du côté droit (vitres, carrosserie, châssis, équipements intérieurs, etc.).

Les dégâts tant sur l'infrastructure du tramway que sur l'infrastructure routière sont légers et n'ont pas nécessité de travaux de remise en état avant réouverture à la circulation.

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

Au vu des circonstances de cet accident, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert une enquête technique le 8 mars 2019, en application des articles L. 1621-2 à L. 1622-2 et R. 1621-1 à R. 1621-26 du Code des transports.

Les enquêteurs se sont rendus sur le site de l'accident. Ils ont rencontré les représentants des forces de l'ordre, de l'exploitant du tramway (RATP), du gestionnaire de voirie (ADP), de l'exploitant de la ligne 91.10 (Transdev), du propriétaire de l'autocar (Albatrans). Ils ont également échangé avec le conducteur du tramway, le conducteur de l'autocar, le fabricant de l'autocar (Mercedes-Benz), l'autorité organisatrice des transports (IDF Mobilités) et les sapeurs-pompiers (BSPP).

Les enquêteurs ont eu communication de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à leur analyse, notamment le dossier de l'enquête de flagrance effectuée par le commissariat de Choisy-le-Roi (94) et le rapport circonstancié relatif à l'accident établi par l'exploitant du tramway.



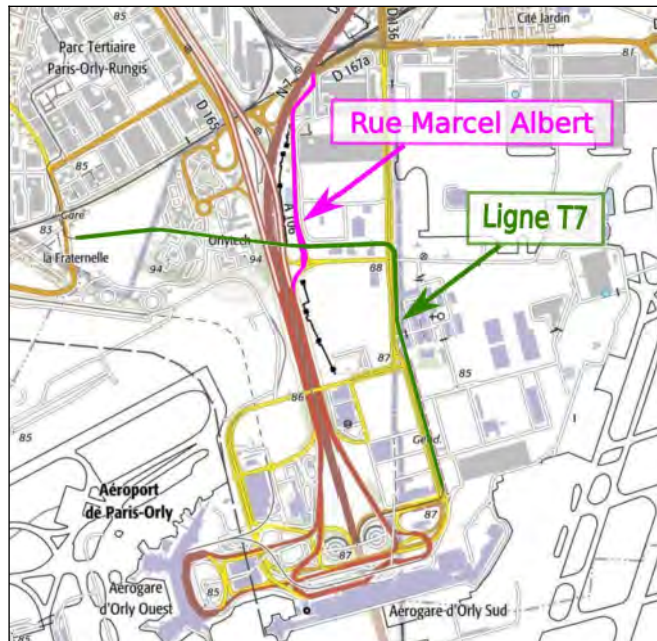
## 2 - Contexte de l'accident

L'accident s'est produit à l'intersection entre la voie ferrée empruntée par le tramway T7 et la rue Marcel Albert, voie communale sur le territoire de la commune de Paray-Vieille-Poste (91). Cette voie est incluse dans le périmètre de la zone aéroportuaire de Paris-Orly.



**Figure 1 : Plan de situation du lieu de l'accident à l'échelle régionale**  
(source géoportail IGN)

La rue Marcel Albert est dans le prolongement d'une bretelle de sortie de l'autoroute A106, axe reliant notamment les aéroports au réseau de voies rapides urbaines de l'agglomération parisienne ; la rue dessert une zone d'activités située au nord des aéroports et des pistes.



**Figure 2 : Plan de situation du lieu de l'accident dans la zone aéroportuaire de Paris-Orly**  
(source géoportail IGN)

## 2.1 - Les conditions météorologiques

Le mercredi 27 février 2019 est une journée ensoleillée, avec une température minimale de 2 °C et maximale de 21 °C. Aucun phénomène de brouillard n'est présent. À l'heure où s'est produit l'accident, 13 h 20, le soleil était haut dans le ciel.

Les conditions météorologiques sont donc optimales pour la conduite et les conducteurs impliqués n'ont pas été gênés par le soleil.

## 2.2 - La ligne de tramway T7

La ligne de tramway T7, entre Villejuif – Louis Aragon au nord et Athis-Mons – Porte de l'Essonne au sud, est longue de 11 km et comprend 18 stations. Située au sud-est de Paris, principalement dans le Val-de-Marne, elle permet des correspondances avec le métro (ligne 7), une ligne de bus à haut niveau de service (Trans Val-de-Marne) et le RER (ligne C).

Mise en service le 13 novembre 2013, elle fonctionne tous les jours, traverse le territoire de 10 communes et dessert notamment l'aéroport de Paris-Orly avec une fréquence d'une rame toutes les 6 minutes en heure de pointe, de 6 h 45 à 9 h 20 et de 16 h 40 à 20 h 10. Cette fréquence diminue à une rame toutes les 8 minutes en heure creuse la journée et une rame toutes les 15 minutes en fin de soirée.



Figure 3 : Schéma de la ligne T7  
(source RATP)

En 2017, 1,03 million de km commerciaux<sup>1</sup> a été réalisé par les 14 rames en exploitation de cette ligne, 8,27 millions de voyages ont été effectués.

L'autorité organisatrice des transports est Île-de-France Mobilités (IDF Mobilités).

L'exploitant de la ligne est la régie autonome des transports parisiens (RATP).

La circulation des rames est régie par un règlement de sécurité de l'exploitation (RSE). Ces rames sont conduites à vue, le conducteur doit donc « adapter sa vitesse en fonction de l'environnement, de la partie de voie qu'il aperçoit devant lui, de manière à pouvoir s'arrêter dans les meilleures conditions possibles, quelles que soient les circonstances, avant un obstacle ». La vitesse maximale autorisée est de 60 km/h pour la section courante et de 40 km/h pour l'approche des intersections, mais elle peut être ponctuellement plus faible à certains endroits de la ligne en fonction du tracé de la voie ou si des circonstances particulières le nécessitent. Dans ce cas, la limitation de vitesse est signalée par des panneaux.

## 2.3 - Les rames de la ligne de tramway T7

Le parc de véhicules utilisé pour l'exploitation de la ligne de tramway T7 comprend 19 rames de la gamme Citadis 302 du constructeur Alstom. Sur ces 19 rames affectées à la ligne T7, 14 sont quotidiennement utilisées, les autres sont en réserve ou en révision.

1 km commerciaux : km dédiés aux déplacements des usagers.



Ces rames ont une capacité de 200 personnes dont 54 assises, une longueur de 32,6 m, une largeur de 2,40 m et une masse à vide de 41 200 kg.

Elles se composent de 5 modules reliés mécaniquement entre eux. Les deux modules d'extrémités, appelés motrices, sont portés chacun par un bogie moteur. Le module central, appelé nacelle porteuse, est doté d'un bogie porteur non moteur. Chaque bogie comporte deux essieux.

Ces rames, livrées en 2013, circulent sur deux rails distants de 1,435 m.

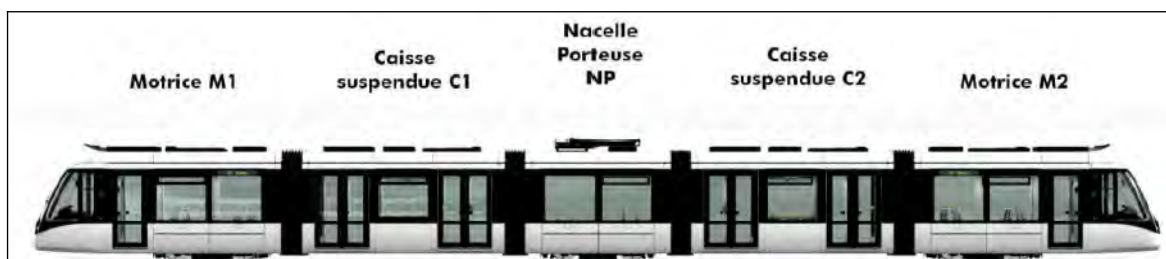


Figure 4 : Diagramme des rames de la gamme Citadis 302 circulant sur la ligne T7 (source RATP)

## 2.4 - La ligne de bus 91.10

La ligne de bus 91.10 est une ligne traversant essentiellement le sud de la Grande Couronne francilienne (Val-de-Marne, Essonne et Yvelines) entre Orly à l'est et Montigny-le-Bretonneux à l'ouest.

Cette ligne comporte 41 arrêts et dessert des pôles majeurs tel l'aéroport Paris-Orly, la gare de Massy-Palaiseau (TGV, RER B et RER C), le plateau de Saclay (université, grandes écoles, industries) et l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines (université, RER C, industries, golf national).



Figure 5 : Schéma de la ligne express 91.10 (source Albatrans)

L'autorité organisatrice des transports est Île-de-France Mobilités.

L'exploitant de la ligne est la société Transdev, avec ses filiales Albatrans et Cars d'Orsay. Albatrans est titulaire du contrat de la ligne 91.10 auprès d'Île-de-France Mobilités ; elle est propriétaire des véhicules et a passé un contrat d'affrètement avec les Cars d'Orsay.

La société Cars d'Orsay emploie les conducteurs, assure et finance l'entretien des véhicules et paie un loyer pour leur mise à disposition.

La ligne 91.10 fonctionne tous les jours de la semaine. La fréquence est d'un passage toutes les 30 minutes en heure de pointe et un passage toutes les 60 minutes en heure creuse.

## **2.5 - La zone de l'accident**

### **2.5.1 - Le gestionnaire routier**

La rue Marcel Albert étant située dans le périmètre de la zone aéroportuaire de Paris-Orly, son gestionnaire routier est la société Aéroports de Paris (ADP). En application de l'article L. 6332-2 du Code des transports, l'autorité détentrice du pouvoir de Police de la circulation sur le périmètre de la zone aéroportuaire de Paris-Orly est, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, le préfet de police<sup>2</sup>. Au vu de la signalisation en place, la rue Marcel Albert n'est pas située en agglomération au sens du code de la route.

L'aménagement de l'intersection au moment de la création de la ligne de tramway T7 a été réalisé sous maîtrise d'ouvrage de la RATP. Depuis la mise en service de la ligne, une convention entre la RATP, ADP et Île-de-France Mobilités définit les conditions d'exploitation et de maintenance des ouvrages et équipements affectés à l'exploitation du tramway T7 et implantés sur le domaine d'ADP.

Aux termes de cette convention datée du 28 novembre 2016, s'agissant des carrefours entre les voies routières et la ligne de tramway, ADP est propriétaire des chaussées et de l'ensemble des équipements de signalisation associés aux carrefours, y compris les feux destinés au tramway, à l'exception :

- des boucles de détection du tramway et leurs raccordements au contrôleur de feux, qui appartiennent à la RATP ;
- des équipements raccordant les contrôleurs de feux au poste de régulation du système de gestion de la signalisation tricolore « Parcival » du conseil départemental du Val-de-Marne (CD94), qui appartiennent au conseil départemental.

Chaque entité assure la maintenance et l'entretien de ses équipements, à l'exception des contrôleurs<sup>3</sup> de feux et des boucles de détection des véhicules routiers, qui appartiennent à ADP mais sont maintenus et entretenus par le CD94, aux termes d'une convention de gestion passée entre ces deux organismes.

### **2.5.2 - Les caractéristiques générales du carrefour**

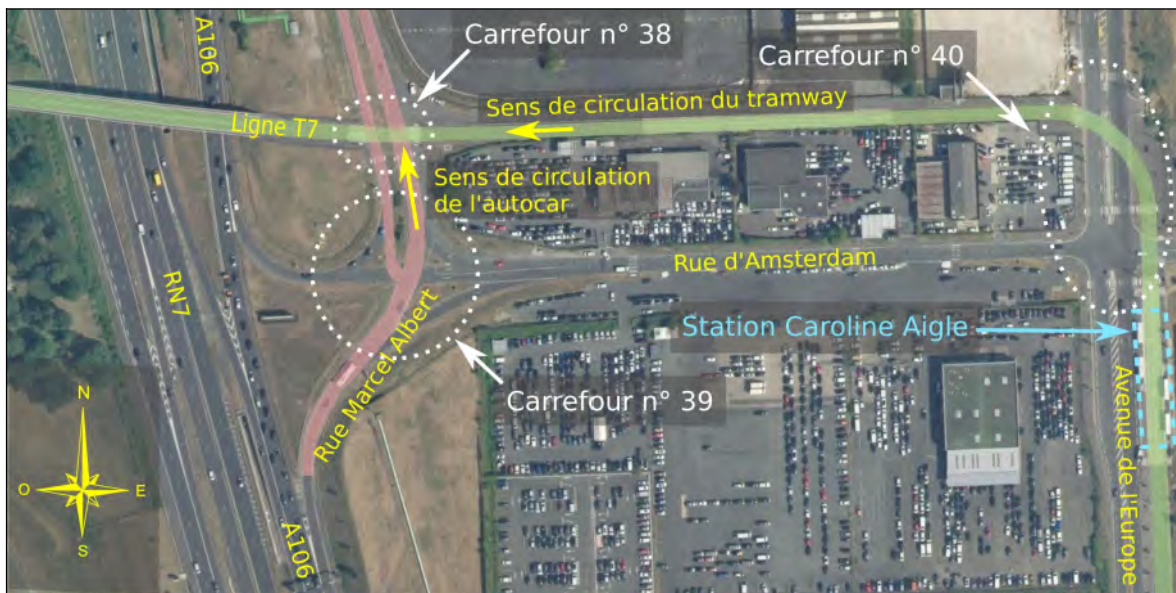
Le carrefour où s'est déroulé l'accident est une intersection à niveau entre la rue Marcel Albert (axe nord-sud, deux voies dans le sens sud-nord, une voie dans l'autre sens) et la plate-forme du tramway (axe ouest-est, deux voies ferrées). Cette intersection a été créée lors de la construction de la ligne T7, elle porte le numéro 38 dans le dossier de sécurité<sup>4</sup> de la ligne. À la date de l'accident, elle n'avait pas subi de modification depuis la mise en service de la ligne T7, ni du point de vue de l'infrastructure, ni du point de vue de la signalisation.

---

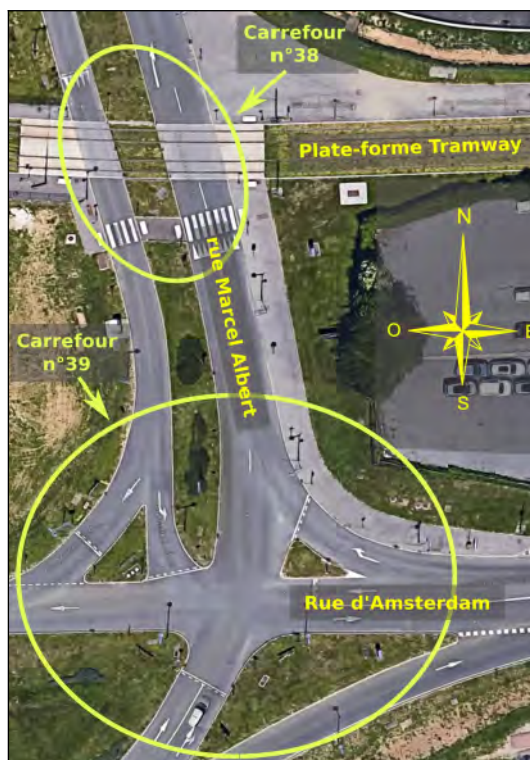
<sup>2</sup> Ce pouvoir relevait antérieurement du préfet du Val-de-Marne.

<sup>3</sup> Un contrôleur de feux est un équipement pilotant le fonctionnement de l'ensemble des feux de circulation d'un carrefour.

<sup>4</sup> La notion de dossier de sécurité est définie en partie 2.6.



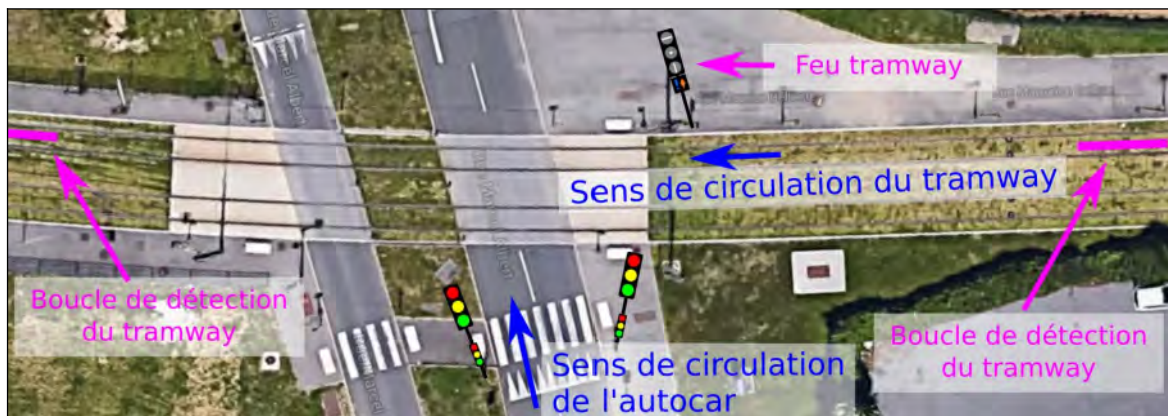
**Figure 6 : Vue aérienne étendue de la zone de l'accident**



**Figure 7 : Vue aérienne des carrefours**

Dans le sens de circulation de l'autocar (c'est-à-dire pour un trajet sud-nord), la rue Marcel Albert comporte, avant le franchissement des voies du tramway, deux voies de circulation de 3,50 m de large chacune. Une vingtaine de mètres en amont de la plate-forme du tramway, la vitesse maximale autorisée est fixée à 30 km/h. Un plateau dénivelé débute quelques mètres avant les voies du tramway, comporte un passage pour piétons et se poursuit au niveau des voies du tramway. Deux feux lumineux tricolores régulent la circulation routière avant le passage pour piétons. Quarante mètres après le franchissement des voies du tramway, les deux voies de la rue Marcel Albert se rejoignent en une seule voie.

Dans l'autre sens de circulation (pour un trajet nord-sud), la rue Marcel Albert comporte, avant le franchissement des voies de tramway, une voie de circulation de 3,50 m de large. La vitesse maximale autorisée est fixée à 30 km/h environ 130 m en amont du carrefour. Un plateau dénivelé s'étend de part et d'autre des voies du tramway, il comporte un passage pour piétons en aval de la plate-forme du tramway. Un feu lumineux tricolore régule la circulation routière avant la plate-forme du tramway.



**Figure 8 : Localisation des feux routiers, du feu tramway et des boucles de détection du tramway pour les sens de circulation de l'autocar et de la rame impliqués dans l'accident**

Le cheminement pour les piétons bénéficie de deux passages pour piétons aménagés pour traverser la plate-forme du tramway, accompagnés de feux de signalisation. En outre, deux passages piétons équipés de feux sont aménagés côté sud pour traverser la rue Marcel Albert, avec un îlot central permettant aux piétons de marquer une pause dans leur traversée. Enfin, des trottoirs larges sont présents sur le côté est de l'intersection, ainsi que le long de la plate-forme du tramway côté est. Nous notons que l'ouvrage du tramway situé à l'ouest de l'intersection et assurant le franchissement de l'A106 et de la RN7 est interdit aux piétons. Aucun aménagement spécifique pour les cyclistes n'est réalisé. Les seuils des passages pour piétons sont équipés en dispositifs podotactiles destinés aux personnes mal ou non voyantes.

Cette intersection est munie d'équipements d'éclairage public.

Soixante mètres au sud de cette intersection existe un carrefour routier numéroté 39 dans le dossier de sécurité de la ligne T7. Les feux de ces deux carrefours sont régulés de façon totalement indépendante.

Selon des comptages conduits par ADP en mai 2019, le trafic moyen sur le carrefour n° 38, deux sens confondus, est d'environ 4 200 UVP/jour<sup>5</sup> dont 400 UVP/heure à l'heure de pointe du matin et 350 UVP/heure à l'heure de pointe du soir. Cet axe est donc peu chargé.

## 2.6 - L'organisation du retour d'expérience prévue par la réglementation

La sécurité d'une ligne de tramway en phase de conception ou d'exploitation est régie par les dispositions du décret n° 2017-440 du 30 mars 2017 relatif à la sécurité des transports publics guidés, dit décret STPG<sup>6</sup>. Le décret est accompagné d'arrêtés d'application datés du 30 mars 2017.

5 UVP : unité de véhicule particulier. Un véhicule léger est compté pour 1 UVP et un véhicule lourd (poids lourd, autobus, autocar) pour 2 UVP.

6 <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000034315240>

Ces textes définissent les rôles des parties prenantes (autorité organisatrice des transports, exploitant de la ligne et gestionnaires routiers) vis-à-vis de la sécurité, ainsi que les organisations et les documents à mettre en œuvre.

L'autorité organisatrice de transport territorialement compétente est garante de la cohérence du système de transports public guidés. À ce titre, elle s'assure de la coordination des différents acteurs et soumet les différents dossiers de sécurité au préfet.

Avant la mise en service de la ligne, l'autorité organisatrice de transport compétente établit un **dossier de sécurité** qui permet d'appréhender et de partager les enjeux de sécurité depuis les phases de conception, en passant par les phases de construction, puis de mise en service et d'exploitation de la ligne. Des organismes qualifiés agréés (OQA) réalisent des évaluations et émettent des avis sur les éléments liés à la sécurité (pour le domaine de l'insertion urbaine : géométrie, signalisation, cohabitation avec l'environnement urbain, circulations douces, etc.).

Lors de l'exploitation, tout **accident ou incident grave** affectant la sécurité est porté sans délai à la connaissance du préfet et de l'autorité organisatrice de transport par l'exploitant. Celui-ci leur adresse ensuite, dans un délai de deux mois, un **rapport circonstancié** sur cet événement qui en analyse les causes et les conséquences constatées, les risques, et indique les enseignements qui en ont été tirés ainsi que les mesures prises afin d'éviter son renouvellement.

Chaque année, l'exploitant rédige un **rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation** de la ligne « *qui comporte notamment une partie relative à l'accidentologie, une partie relative au contrôle interne, une partie relative aux évolutions du système et une partie relative à un plan d'actions unique envisagé pour maintenir et améliorer la sécurité du système* ». Les gestionnaires de voirie concernés contribuent à la rédaction de ce rapport. Le service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG) a publié un guide technique<sup>7</sup> explicitant le contenu du rapport annuel et le rôle de l'ensemble des intervenants dans sa rédaction. Pour l'année 2017, la RATP a produit en décembre 2018 un rapport unique traitant de l'ensemble des lignes de tramway qu'elle exploite.

Par ailleurs, en sus des structures définies par les textes réglementaires, IDF Mobilités a mis en place pour chaque ligne de tramway un **comité des gestionnaires** dont il a délégué l'organisation à la RATP. Le comité réunit deux fois par an la RATP, IDF Mobilités ainsi que l'ensemble des gestionnaires de voirie et des responsables des espaces fonciers concernés par la ligne. Le comité des gestionnaires de la ligne T7 existe depuis mai 2014.

Les principaux sujets abordés lors de ces échanges concernent tout d'abord les enjeux d'exploitation de la ligne et les éventuelles interactions avec des travaux d'aménagements programmés sur les voies routières. De plus, le suivi des accidents et incidents fait partie des sujets traités. Les sections accidentogènes sont identifiées et le cas échéant, des pistes d'actions sont discutées. Le comité peut également décider de suivre plus précisément l'évolution des incidents et accidents sur certaines sections de la ligne de tramway.

Enfin, des **réunions périodiques d'exploitation** des lignes de tramway, tenues tous les six mois, rassemblent le STRMTG, la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Île-de-France, IDF Mobilités et la RATP. Les réunions traitent de nombreux sujets relatifs à la sécurité et à l'exploitation, parmi lesquels le suivi des arrêtés de mise en service des lignes récentes, les modifications intervenues ou prévues sur le réseau et le suivi des recommandations du STRMTG. La

---

<sup>7</sup> Guide d'application relatif au contenu du rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation, STRMTG, avril 2018.

RATP y présente également une partie des collisions et des incidents d'exploitation survenus sur le réseau depuis la réunion précédente, et la mise en œuvre de mesures consécutives à certains de ces événements fait l'objet d'un suivi lors des réunions ultérieures.

### 3 - Compte rendu des investigations effectuées

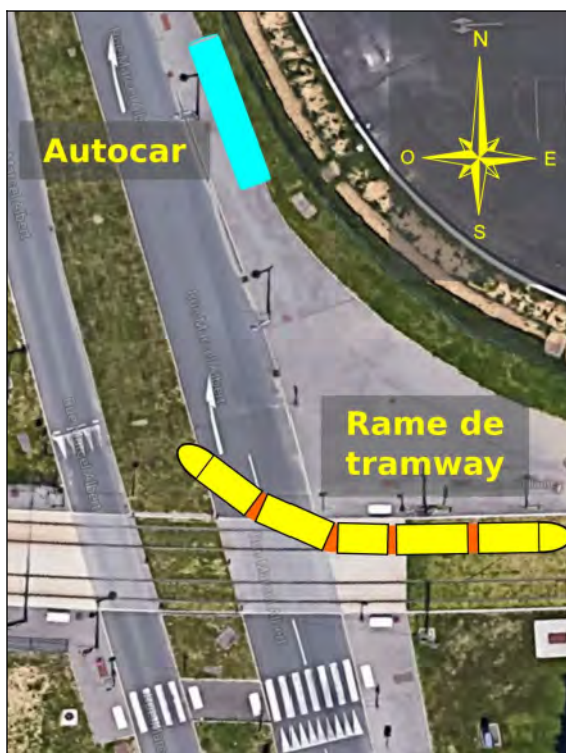
#### 3.1 - L'état des lieux à l'arrivée des secours

À l'arrivée des secours, tous les passagers de l'autocar et de la rame ont évacué les véhicules. L'autocar est stationné sur le trottoir de la rue Marcel Albert, à environ 25 m au nord de la plate-forme du tramway. Il présente un point de choc à son arrière droit, derrière son essieu arrière.

Les deux premiers bogies de la rame de tramway ont déraillé, le premier sur une distance d'environ 12 m et le deuxième sur quelques dizaines de centimètres. L'avant de la rame, très endommagé, est immobilisé au niveau du terre-plein central engazonné séparant les deux chaussées de la rue Marcel Albert, la roue avant gauche du premier bogie est en appui sur la bordure du terre-plein.

L'infrastructure n'a pas subi de dégât particulier, hormis les rainures laissées dans la chaussée par le passage des roues de la rame de tramway après le déraillement.

La figure 9 ci-après visualise les positions finales de l'autocar et de la rame.



*Figure 9 : Positions finales de la rame et de l'autocar après l'accident*



**Figure 10 : Position de la rame après l'accident (sur la gauche de la photographie, l'arrière de l'autocar stationné sur le trottoir peut être distingué)  
(source Police)**



**Figure 11 : Position de l'autocar après l'accident  
(source Police)**

## **3.2 - Résumé des témoignages**

Les résumés des témoignages sont établis par les enquêteurs techniques sur la base des déclarations orales ou écrites dont ils ont eu connaissance. Ils ne retiennent que les témoignages et 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 différentes déclarations ou entre ces déclarations et des constats ou analyses présentés par ailleurs.

### **3.2.1 - Le témoignage du conducteur de l'autocar**

Le conducteur de l'autocar impliqué déclare bien connaître l'itinéraire. Son véhicule était seul sur la voie. Il se dirigeait vers le carrefour à vitesse modérée (20 à 30 km/h) lorsqu'il a été dérangé par une passagère venue lui demander de la monnaie, ce qui l'a distrait et lui a fait « manquer » le feu rouge.

En traversant les voies, il a vu la rame de tramway arriver sur sa droite ; il a alors tenté de ré-accélérer mais sans grand succès, la motorisation au gaz équipant l'autocar ne permettant pas une réaction suffisamment franche. Il pensait avoir réussi à éviter la rame lorsqu'il a senti le choc à l'arrière de son véhicule.



Après avoir réussi à contrôler l'embarquée qu'a fait l'autocar sous le choc, le conducteur l'a garé sur le trottoir, a coupé le moteur, ouvert les portes, vérifié qu'aucun des passagers n'était gravement blessé, ce qui était le cas, puis inspecté le véhicule.

### 3.2.2 - Le témoignage du conducteur de la rame de tramway

Le conducteur de la rame de tramway circulait à une vitesse de l'ordre de 30 km/h. Son feu de circulation était au vertical<sup>8</sup>. À l'approche du carrefour il a réglé son manipulateur<sup>9</sup> en position de « quart freinage »<sup>10</sup>. Son attention a d'abord été mobilisée par l'autocar venant du côté gauche, mais il a estimé que celui-ci allait s'arrêter. Le conducteur s'est alors focalisé sur une automobile arrivant à vive allure du côté droit. Constatant que celle-ci ralentissait, il a reporté son attention sur sa trajectoire et a vu l'autocar engagé dans le carrefour. Surpris, il a actionné le frein d'urgence tout en sachant la collision inévitable.

Après l'arrêt de la rame, le conducteur a mis en œuvre le protocole prévu en cas d'accident : il a coupé le courant, appelé son poste de central (PC) de régulation et demandé l'intervention des services de secours, puis il a évacué les passagers par la porte de service à l'avant.

## 3.3 - Le carrefour

### 3.3.1 - L'aménagement et la signalisation

Le carrefour n° 38 comporte un plateau dénivelé avec un passage pour piétons.

Du point de vue du conducteur de l'autocar, la signalisation verticale (panneaux d'avertissement, panneaux de position, panneaux d'interdiction, panneaux d'obligation, feux tricolores) est abondante et implantée sur un espace très réduit. À l'approche du carrefour il rencontre ainsi successivement, doublés de chaque côté de la chaussée :

- 28 m avant les feux, un panneau A9b « Traversée de voies de tramway » ;
- 16 m avant les feux, un panneau B14 « Limitation de vitesse à 30 km/h » surmonté d'un panneau A2b « Ralentisseur de type dos d'âne » ;
- 3 m avant les feux, trois panneaux d'indication C27 « Surélévation de chaussée », C20a « Passage pour piétons » et C20c « Traversée de voies de tramway ».

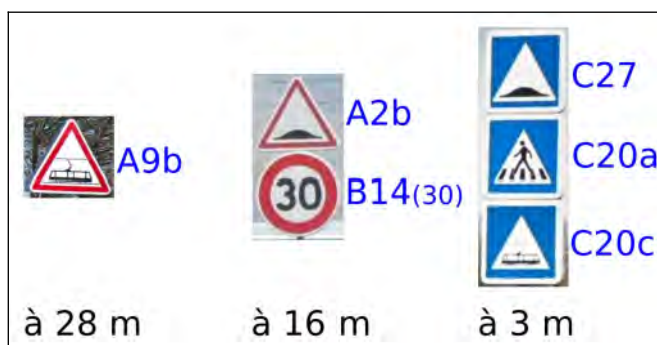


Figure 12 : Succession des panneaux rencontrés à l'approche des feux, en fonction de la distance aux feux

8 Le vertical pour un feu destiné au tramway équivaut au vert pour un feu tricolore routier. Les spécificités des feux de circulation destinés aux tramways sont détaillées en partie 3.3.3.

9 Le manipulateur de traction-freinage est le dispositif permettant au conducteur de commander l'accélération et le freinage de la rame.

10 Positionnement du manipulateur de traction-freinage en léger freinage.

En particulier, les feux tricolores gérant la traversée des voies du tramway peuvent être partiellement masqués par la présence de chaque côté des trois panneaux de position situés dans l'axe de vision des conducteurs, comme l'illustre la figure 13.



*Figure 13 : Vue vers le carrefour n° 38 dans le sens de circulation de l'autocar  
(photo BEA-TT)*

Le dossier de sécurité de la ligne T7 qui a été transmis aux enquêteurs du BEA-TT rend compte d'échanges à propos de la signalisation du carrefour, intervenus lors de la phase de conception courant 2013, entre l'organisme qualifié agréé (OQA) en charge de l'évaluation indépendante du dossier de sécurité et le maître d'ouvrage (la RATP). Ce dernier y affiche notamment son intention « *de retirer les panneaux C20a et C20c afin d'éclaircir au maximum la signalisation.* » Toutefois le BEA-TT n'a pas connaissance des suites qui ont été données à ces échanges, et les panneaux évoqués étaient en place le jour de l'accident.

### **3.3.2 - La visibilité au carrefour**

La visibilité réciproque entre une rame de tramway circulant dans le sens est-ouest et un véhicule routier provenant du sud est limitée par une clôture végétale ainsi que par l'armoire de commande des feux de signalisation. Près de 60 mètres sont disponibles au conducteur du tramway pour appréhender la position des véhicules vis-à-vis des feux routiers.



Figure 14 : Triangle de visibilité au carrefour n° 38 sur un véhicule arrêté aux feux routiers

Une fiche technique<sup>11</sup> publiée conjointement par le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) et le service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG) propose une méthode de détermination des zones de visibilité minimale nécessaires sur une ligne de tramway. Dans le cas d'une intersection gérée par une signalisation lumineuse, ce document stipule que le cône de visibilité doit permettre au conducteur du tramway de détecter la présence d'un usager à son point normal d'arrêt pour le respect de la signalisation lumineuse, à une distance lui permettant de s'arrêter avant la zone de conflit en appliquant un freinage d'urgence en cas de non-respect du signal rouge par le tiers. Cette distance doit être calculée en considérant une vitesse initiale du tramway égale à la vitesse de consigne sur la section considérée, un temps de réaction global (homme + machine) de 1,5 s et une décélération en freinage d'urgence de 2,8 m/s<sup>2</sup>.

Pour le carrefour n° 38, la vitesse de franchissement maximale imposée au conducteur de la rame dans le règlement d'exploitation est de 40 km/h. La distance d'arrêt correspondant à la vitesse initiale de 40 km/h serait de 39 m, valeur inférieure aux 61 m que permet la configuration du carrefour.

À noter que dans le cas d'un freinage de service (décélération de 1,2 m/s<sup>2</sup>) et pour les mêmes hypothèses de vitesse initiale et de temps de réaction, la distance d'arrêt correspondante serait de 68 m, valeur trop élevée pour permettre à la rame de s'arrêter avant l'intersection. L'arrêt de la rame avant la zone de conflit impose donc sur ce carrefour de recourir au freinage d'urgence, sur au moins une partie de la phase de freinage.

### 3.3.3 - Le fonctionnement des feux de circulation

#### Les feux de circulation liés aux lignes de tramway

La circulation des tramways est réglée par des signaux de type R17, dont le fonctionnement est défini dans l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (IISR). Le signal R17 est composé de trois feux blancs représentant :

- une barre horizontale, pour le feu du haut ;
- un disque, pour le feu du milieu ;
- une barre verticale, pour le feu du bas.

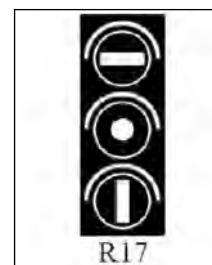


Figure 15 : Signal R17  
(source IISR)

11 Cerema, STRMTG, Fiche IUTCS n° 4 « Tramway et visibilité : méthodes et outils », septembre 2018.

Ces feux ont la même signification que les feux rouge, jaune et vert des signaux routiers usuels.

La traversée d'une voie de tramway par les piétons est réglée par le signal R25, également défini dans l'IISR. Ce feu est composé d'un pictogramme rouge fixe figurant un piéton, surmontant un pictogramme rouge clignotant portant la mention STOP. Ce feu n'est allumé que lorsque la traversée des piétons est interdite.



**Figure 16 : Signal R25**  
(source IISR)

Les signaux R17 sont généralement accompagnés de signaux d'aide à la conduite (SAC) dont l'objectif est d'apporter au conducteur de la rame différentes informations sur le déroulement du cycle de feux, et lui permettre ainsi d'adapter sa conduite. Ces signaux n'étant pas définis dans les textes réglementaires relatifs à la signalisation routière, leur configuration peut varier d'un réseau à l'autre voire d'une ligne à l'autre ; le dispositif spécifique à la ligne T7 est décrit plus loin.

### **Principes généraux de fonctionnement des feux de la ligne T7**

Les règles générales régissant les cycles des feux équipant les carrefours de la ligne T7 sont définies dans le dossier de sécurité de la ligne, par le document « Principe de fonctionnement de la priorité au tramway au carrefour à feu ».

Lors de l'étude de conception d'un carrefour, les techniciens définissent les mouvements considérés comme incompatibles, qui ne peuvent donc être autorisés simultanément, ainsi que les durées minimales séparant le passage au rouge d'une ligne de feux et le passage au vert de la ligne de feux antagoniste. Ces durées appelées « rouge de dégagement » sont rassemblées dans un tableau dénommé « matrice de sécurité ». Cette matrice, implémentée dans le contrôleur pilotant le fonctionnement des feux, constitue un ensemble d'exigences auquel sera soumise toute programmation ultérieure des cycles de feux.

Sur la ligne T7, les temps de dégagement ont été calculés en adoptant comme hypothèses une vitesse de 10 m/s (soit 36 km/h) pour les véhicules particuliers, de 1 m/s (soit 3,6 km/h) pour les piétons, et pour les tramways la vitesse de franchissement du carrefour définie dans les consignes d'exploitation, plafonnée à 10 m/s. Le document ne stipule pas d'hypothèse spécifique pour les véhicules lourds (poids lourds, autobus, autocars).

La progression d'une rame de tramway est suivie au moyen de boucles de détection implantées sur le parcours et de balises installées dans chaque rame. Le contrôleur pilotant les feux d'un carrefour est ainsi averti de l'arrivée prochaine d'une rame et adapte le cycle de feux pour lui donner autant que possible la priorité. Une boucle implantée en aval du carrefour (cf. figure 8) permet de vérifier que la rame a bien libéré son emprise et de rétablir ainsi la circulation sur l'axe routier. Si aucun passage n'est détecté sur cette boucle en aval, la circulation routière est rétablie après une temporisation programmée dans le contrôleur.

Le signal d'aide à la conduite utilisé sur la ligne T7 est placé sous le signal R17 et composé de deux feux (figure 17) :

- en partie droite un losange orange clignotant, dont l'allumage signale au conducteur que l'arrivée de la rame est prise en compte par le contrôleur de feux ;
- en partie gauche un point d'exclamation bleu clignotant, dit « annonce de vertical », dont l'allumage se déclenche 3 secondes avant le passage du signal R17 en position permissive.

Un guide technique<sup>12</sup> publié par le STRMTG établit des recommandations relatives au fonctionnement du signal d'aide à la conduite. Il recommande notamment que l'annonce de vertical soit activée suffisamment tôt pour permettre au conducteur, en l'absence d'activation, de s'arrêter avant l'intersection dans des conditions de freinage « normales » vis-à-vis des passagers. Les hypothèses à prendre en compte pour déterminer ce délai minimal sont un temps de réaction du conducteur nul<sup>13</sup>, un temps de réaction machine égal à 0,85 s et une décélération de 1,2 m/s<sup>2</sup> correspondant à l'activation du frein de service.

Pour la vitesse d'approche de 40 km/h (soit 11,1 m/s) définie dans les consignes d'exploitation de la ligne T7, ce délai minimal est de 10 secondes et la distance d'arrêt correspondante serait de 61 m.

### **Fonctionnement théorique des feux du carrefour n° 38 à l'approche d'une rame de tramway**

Les cycles des feux équipant les carrefours de la ligne T7 sont définis dans des « dossiers de régulation » spécifiques à chaque carrefour, regroupés dans le dossier de sécurité de la ligne T7.

Le fonctionnement des feux du carrefour n° 38 (celui où a eu lieu l'accident) est totalement indépendant de ceux équipant le carrefour n° 39, situé plus au sud. Sur le carrefour n° 38, la situation par défaut est un signal vert pour les feux routiers de la rue Marcel Albert et « horizontal » (équivalant au rouge) pour les feux du tramway. Cette situation perdure jusqu'à soit une sollicitation de la part d'un piéton pour la traversée de la rue Marcel Albert, soit la détection d'une rame de tramway en approche.





























Le séquençage théorique des feux à l'approche d'une rame de tramway venant de l'est, comme la rame accidentée, est détaillé dans le tableau suivant. La notation Td représente l'instant où s'active le losange du signal d'aide à la conduite informant le conducteur de la rame de sa bonne prise en compte. En pratique la durée de certains intervalles dépend de la vitesse d'avancement de la rame : le tableau indique alors la durée minimale programmée dans le contrôleur.



















**Figure 17 : Signal R17 et SAC sur la ligne T7**  
(photo BEA-TT)

12 Signal d'Aide à la Conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé - Principes de fonctionnement et de sécurisation, STRMTG, Février 2009.

13 Le guide admet cette valeur « *en considérant que le conducteur est en approche de carrefour et est donc vigilant* ».

Instant	Événement	État des feux				Durée
		Feux routiers	Feux piétons	Feu tramway et SAC	Feux R25	
	Situation initiale en l'absence de rame de tramway					
Td	Le losange du SAC s'allume (à cet instant la rame de tramway se trouve à environ 220 m du feu, elle vient de sortir entièrement du virage qui succède au carrefour n° 40)					8 s (mini)
Td + 8 s	Les feux routiers passent au jaune Les feux R25 s'allument					3 s
Td + 11 s	Les feux routiers passent au rouge					1 s
Td + 12 s	Le point d'exclamation s'allume					2 s
Td + 14 s	Les feux piétons passent au vert					1 s
Td + 15 s	Le feu tramway passe au vertical Le losange et le point d'exclamation s'éteignent					6 s (mini)

Instant	Événement	État des feux				Durée
		Feux routiers	Feux piétons	Feu tramway et SAC	Feux R25	
Td + 21 s	Le feu tramway passe au disque					1 s
Td + 22 s	Les feux piétons passent au rouge					2 s
Td + 24 s	Le feu tramway passe à l'horizontal					4 s (mini)
Td + 28 s	Les feux routiers passent au vert Le feu R25 s'éteint (Retour à la situation initiale)					

Les enquêteurs du BEA-TT se sont rendus sur les lieux pour observer le fonctionnement effectif du cycle de feux. Leurs constats ont été conformes aux phases théoriques décrites ci-dessus : les phases de durée fixe étaient identiques et les phases de durée variable respectaient la durée minimale spécifiée.

Lors du passage des rames circulant à une vitesse proche de la vitesse maximale autorisée de 40 km/h, celles-ci sont arrivées au droit de leur feu 6 s après l'allumage du vertical, et environ 10 s après le déclenchement du signal d'annonce du vertical. Le délai observé entre le déclenchement du signal d'annonce du vertical et l'arrivée des rames au droit du feu est conforme à la valeur requise en application du guide technique du STRMTG évoqué plus haut.

#### Matrice de sécurité du carrefour n° 38

La matrice de sécurité du carrefour définie dans le dossier de régulation impose notamment un délai minimal de 2 s entre le passage au rouge des feux routiers et le passage au vertical des feux du tramway. Le délai effectivement programmé entre ces deux événements est plus long puisqu'il s'élève à 4 s.

Le délai minimal de 2 s inscrit dans la matrice de sécurité est cohérent avec l'hypothèse générale d'une vitesse de 10 m/s pour les véhicules particuliers et la distance à parcourir entre le pied du feu routier et la fin du gabarit de la ligne de tramway, qui s'élève à 16 m.

Toutefois les enquêteurs du BEA-TT considèrent que ces hypothèses ne sont pas adaptées à la configuration du carrefour n° 38 et au trafic qui y circule. En effet :

- la vitesse maximale autorisée sur ce carrefour est fixée à 30 km/h, soit 8,3 m/s, valeur inférieure à l'hypothèse prise en compte ;
- le trafic sur le carrefour n° 38 comporte un nombre significatif de véhicules de transport en commun et de poids lourds ; pour les véhicules articulés (autobus ou PL avec semi-remorque), la présence d'un plateau surélevé entraîne de fait une vitesse de franchissement plus faible que 30 km/h, autant pour des raisons de préservation du matériel que pour le confort des passagers ; une hypothèse de vitesse de l'ordre de 20 km/h semblerait plus adaptée à ces véhicules ;
- le calcul d'un temps de dégagement adapté aux véhicules lourds doit également tenir compte de leur longueur : l'autocar impliqué dans l'accident mesure plus de 12 mètres, un poids lourd avec remorque ou semi-remorque peut mesurer plus de 18 mètres.

Pour ces hypothèses de vitesse et de longueur de véhicules, le carrefour ne peut être entièrement dégagé en 2 secondes par le véhicule routier avant l'arrivée du tramway.

### **3.3.4 - L'enregistrement du contrôleur de feux**

L'ensemble des feux du carrefour n° 38 sont pilotés par un contrôleur unique placé à proximité. Cet équipement a la capacité d'enregistrer les valeurs des différents paramètres et les transmet au PC de gestion des feux de circulation du conseil départemental du Val-de-Marne. La durée de conservation de ces informations était, à la date de l'accident, de 7 jours.

Le lendemain de l'accident, la RATP a interrogé le conseil départemental du Val-de-Marne sur l'état du feu tramway la veille à 13 h 20 min 00 sec 44. Celui-ci a répondu que les enregistrements ne mettaient pas en évidence de dysfonctionnement avant 13 h 20, et permettaient d'établir que le feu tramway dans le sens Porte de l'Essonne/Villejuif avait été ouvert normalement à 13:20:01 suite au passage du tramway sur ses boucles d'appel, et était resté ouvert jusqu'à 13:20:08.

Toutefois les enquêteurs du BEA-TT estiment que ces éléments ne permettent pas de reconstituer de façon certaine le cycle des feux peu avant et au moment de la collision. En effet, l'instant réel de l'accident n'est pas connu avec précision dans le repère temporel du contrôleur de feux, et la réponse du conseil départemental n'indique pas s'il a été vérifié que la séquence mentionnée correspondait bien au dernier passage d'une rame avant l'interruption de la circulation sur la ligne. Il ne peut donc être exclu que cette séquence corresponde au passage d'une rame précédente, y compris dans le sens inverse, et non de la rame accidentée. Il n'a pas été possible de répondre à cette interrogation, les données n'ayant pas été conservées.

## **3.4 - L'autocar et son conducteur**

### **3.4.1 - Les caractéristiques de l'autocar**

De marque Mercedes-Benz et de type Citaro NGT, l'autocar a été mis en circulation le 26 juin 2018 et totalisait au jour de l'accident 61 554 km. Selon l'attestation d'aménagement du véhicule, celui-ci comporte 33 places assises hors celle du conducteur et peut transporter 16 personnes debout.

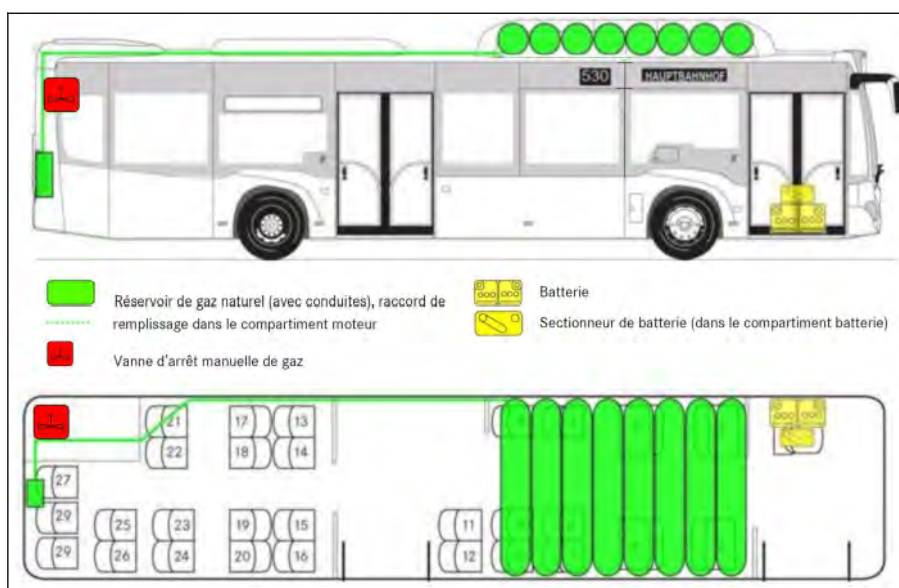


Sa masse à vide est de 11 505 kg, sa masse en charge maximale admissible de 17 900 kg et sa longueur de 12,135 m. La dernière visite technique de l'autocar date du 21 décembre 2018, elle était valide jusqu'au 20 juin 2019.

Tous les sièges sont équipés de ceintures de sécurité. L'autocar est également équipé d'un compartiment à bagages, installé dès l'origine.

Le moteur de l'autocar fonctionne au gaz naturel comprimé (GNC). Similaire au gaz de ville, ce carburant est rendu odorant grâce à l'ajout d'un additif afin d'en détecter la présence. Il est plus léger que l'air, et s'échappe donc vers le haut en cas de fuite sous une faible pression.

Le carburant est stocké à haute pression (200 bars) dans des réservoirs conçus en polyéthylène renforcé de fibres de carbone, placés sur le toit du véhicule. Le gaz chemine depuis les réservoirs, via des électrovannes<sup>14</sup>, vers le compartiment moteur par un réseau de canalisations (tubulures) passant à l'extérieur sur le toit du côté gauche du véhicule, puis descendant à l'arrière dans le compartiment moteur. Le remplissage des réservoirs s'effectue via un dispositif situé dans le compartiment moteur.



**Figure 18 : Représentation schématique du circuit de gaz du Citaro NGT**  
(source Mercedes-Benz, retouché BEA-TT)

Plusieurs éléments de conception visent à réduire le risque d'incendie.

Tout d'abord, les réservoirs de gaz sont soumis à certaines exigences en matière de résistance aux chocs, destinées à éviter ou réduire leur endommagement en cas de collision.

En cas d'incendie déclaré, les flammes dégradent le matériau constituant la paroi des réservoirs et simultanément l'élévation en température fait augmenter la pression du gaz qu'ils contiennent, jusqu'à atteindre leur limite de résistance. Pour éviter l'éclatement des réservoirs, chacun d'eux est muni de deux thermofusibles (un à chaque extrémité) conçus pour se déclencher lorsque la température dépasse 110 °C et permettre de purger le réservoir.

14 Une électrovanne est une vanne commandée électriquement.

Enfin, le système d'électrovannes permet d'assurer une absence de libération de gaz dans le circuit de distribution du carburant lorsque le circuit électrique est mis hors tension.

Une notice complémentaire au manuel d'utilisation des Citaro NGT, éditée par Mercedes-Benz, précise qu'« en cas d'urgence (incendie, accident par exemple), il faut couper le moteur en tenant compte de la circulation, puis désactiver aussi le réseau électrique de bord au moyen du coupe-batterie. L'objectif est d'empêcher l'ouverture des électrovannes des bouteilles de gaz par la mise en marche du chauffage additionnel », car ce chauffage fonctionne également au gaz.



**Figure 19 : Exemples de procédures d'utilisation du coupe-batterie présentées dans le guide Mercedes**  
(source Mercedes-Benz)

### **3.4.2 - Les dégâts occasionnés au véhicule**

Le point de choc se situe à l'arrière droit de l'autocar, derrière son essieu arrière. Le bas de caisse a été enfoncé et les vitres situées à l'arrière de la porte centrale sont entièrement brisées.

À l'avant de l'autocar, le rétroviseur extérieur droit a été arraché et la vitre située au-dessus de la porte avant est en partie brisée et étoilée. Ces dégâts résultent probablement d'un choc du rétroviseur contre un candélabre lors de la manœuvre de l'autocar consécutive à la collision.



**Figure 20 : Vue de la partie arrière droite de l'autocar accidenté**  
(source Police)

### **3.4.3 - Le conducteur de l'autocar**

Le conducteur de l'autocar, âgé de 63 ans, est employé par la société Cars d'Orsay depuis l'été 2017. Il est titulaire du permis de conduire de catégorie D (Transport de personnes – plus de 8 passagers) depuis 2004, sa validité s'étendant jusqu'au 30 novembre 2019. D'après son employeur, il n'a pas reçu de formation à la conduite d'un véhicule fonctionnant au GNC ni aux consignes de sécurité spécifiques en cas d'accident.

Le conducteur connaît bien la ligne 91.10 à laquelle il a été formé par son employeur en juillet 2018. La pratique de l'entreprise consiste à affecter les conducteurs non pas sur une ligne unique mais sur un groupe de lignes que chaque conducteur parcourt « par roulement », de façon à rompre la monotonie des trajets et à permettre plus de souplesse dans la gestion des plannings. Dans ce contexte, le conducteur avait déjà parcouru la ligne 91.10 dans le passé, et y circulait à nouveau depuis trois jours consécutifs.

Le jour de l'accident, il a pris son service à 7 h 55 au dépôt de Marcoussis (91) et a débuté son service commercial à 9 h au terminus d'Orly Ouest. Dans la matinée il a effectué un aller-retour complet vers Saint-Quentin-en-Yvelines. Son dernier trajet prévu, débuté à 13 h à Orly Ouest, devait s'achever à 14 h 35 à Saint-Quentin-en-Yvelines, suivi d'un retour au dépôt de Marcoussis et d'une fin de service vers 15 h 30.

Le conducteur de l'autocar n'a pas été blessé lors de l'accident. Les dépistages de l'alcoolémie et de la consommation de stupéfiants auxquels il a été soumis après l'accident se sont révélés négatifs.

### 3.4.4 - Les passagers de l'autocar

Au moment de l'accident l'autocar transportait 14 passagers, tous assis. Aucun d'entre eux n'avait attaché sa ceinture de sécurité, bien que le Code de la route l'impose<sup>15</sup>. La ligne 91.10 étant une ligne de transports urbains, service généralement assuré par des autobus non équipés de ceintures, l'existence des ceintures de sécurité dans cet autocar avait probablement échappé à la plupart des passagers.

Une passagère assise du côté droit de l'autocar a été projetée contre le compartiment à bagages lors de la collision et a eu plusieurs côtes cassées. Elle a été hospitalisée pendant cinq jours. Six autres passagers ont été légèrement blessés dont quatre ont été transportés à l'hôpital.



**Figure 21 : Vue de l'intérieur de l'autocar, vers l'avant ;  
sur le côté gauche, le compartiment à bagages  
(source Police)**

### 3.4.5 - Le trajet d'approche de l'autocar

L'autocar est équipé d'un chronotachygraphe, de plusieurs caméras de vidéoprotection filmant l'intérieur du véhicule, ainsi que d'un dispositif d'enregistrement sonore. Aucune caméra ne filme la route devant le véhicule, mais certaines permettent de visualiser partiellement l'environnement extérieur sur son côté droit. L'analyse croisée de ces enregistrements, après recalage par rapport à l'instant de l'accident, permet de reconstituer le déroulement des événements dans les minutes précédant la collision.

L'enregistrement vidéo débute lorsque l'autocar se trouve entre l'arrêt Orly Ouest, départ de la ligne 91.10, et l'arrêt Orly Sud. Du fait des encombrements, l'autocar met pour rejoindre cet arrêt plus de sept minutes, pendant lesquelles le conducteur exprime à plusieurs reprises des signes d'impatience. La montée des passagers à l'arrêt Orly Sud, le transport de leurs bagages et l'achat de leurs tickets prend plus de trois minutes.

Peu de temps après, l'autocar s'engage sur l'autoroute A106 où la circulation est fluide. Il emprunte la bretelle de sortie suivante, qui donne sur la rue Marcel Albert, et s'arrête au feu rouge situé au carrefour n° 39. Pendant ce trajet, qui dure environ de deux minutes et demie, le conducteur de l'autocar est sollicité par une passagère souhaitant acheter un

<sup>15</sup> Article R412-1 du Code de la route : « En circulation, tout conducteur ou passager d'un véhicule à moteur doit porter une ceinture de sécurité homologuée dès lors que le siège qu'il occupe en est équipé [...] »

ticket pour une future correspondance. La passagère repart vers l'arrière de l'autocar alors que le véhicule est arrêté au feu rouge du carrefour n° 39.

Au redémarrage, l'autocar accélère pendant environ 8 secondes jusqu'à atteindre une vitesse de l'ordre de 27 km/h, puis stabilise sa vitesse pendant environ 4 secondes. Il roule alors sur la voie de gauche de sa chaussée. Une fois franchie la pente du plateau surélevé, dont le sommet se situe approximativement au droit des feux tricolores réglant le carrefour n° 38, l'autocar accélère légèrement jusqu'à la vitesse de 31 km/h. Il est alors heurté par la rame de tramway, freine fortement, et arrête sa course environ 7 secondes plus tard après avoir parcouru quelque 25 m.

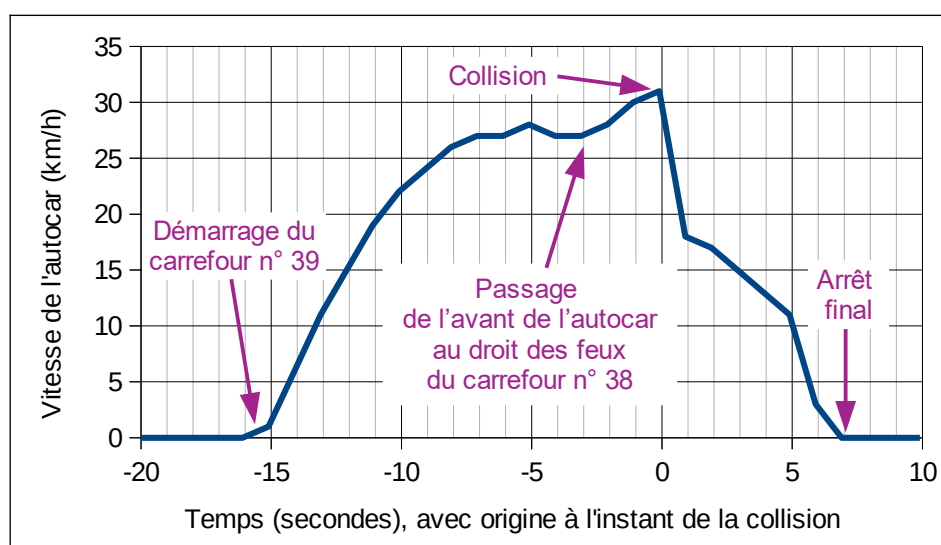


Figure 22 : Évolution de la vitesse de l'autocar dans les instants précédant et suivant la collision

### 3.5 - La rame de tramway et son conducteur

#### 3.5.1 - Les caractéristiques de la rame et sa maintenance

La rame impliquée porte le numéro 702. Elle a été mise en service commercial lors de l'ouverture de la ligne T7 en novembre 2013. Elle a parcouru 275 000 km avant l'accident. Son précédent entretien technique, réalisé le 9 janvier 2019, n'a pas fait ressortir d'anomalie particulière.

Le dernier essai dynamique de freinage d'urgence a été réalisé le 20 août 2018. Pour une vitesse initiale de 39,8 km/h, la distance d'arrêt relevée a été de 21,2 m. Ce résultat est conforme au référentiel technique de l'exploitant qui définit une distance d'arrêt maximale de 31 m et impose la programmation d'une remise à niveau rapide pour une valeur comprise entre 27 et 31 m.

La norme NF EN 13452-1 « Systèmes de freinage des transports publics urbains et suburbains – Partie 1 : Exigences de performances » stipule que la distance d'arrêt maximale admissible lors d'un freinage d'urgence est celle correspondant à un temps de réaction du système de 0,85 s puis une décélération constante de 2,8 m/s<sup>2</sup>. Pour une vitesse initiale de 40 km/h, la distance d'arrêt maximale correspondante est de 31 m, valeur identique à l'exigence fixée par le référentiel technique de l'exploitant.

### 3.5.2 - Les dégâts occasionnés à la rame

Les dégâts sont localisés sur la partie avant de la rame. Le tampon<sup>16</sup> a été enfoncé et décalé sur la droite d'une vingtaine de centimètres. L'avant de la coque et la jupe latérale droite ont été arrachés, le pare-brise et la vitre latérale gauche de la cabine de conduite ont été brisés. Les éléments de structure de la cabine ont subi des déformations significatives. En conséquence, la RATP a décidé de remplacer intégralement la cabine.



Figure 23 : Vues de la partie avant de la rame accidentée (source Police)

### 3.5.3 - Le conducteur de la rame

Le conducteur de la rame de tramway est un agent travaillant pour la RATP. Âgé de 48 ans, il est titulaire du permis de conduire de catégorie D (Transport de personnes – plus de 8 passagers) et est habilité à la conduite des tramways de la ligne T7 depuis l'ouverture de la ligne en 2013.

Le conducteur était au repos la veille de l'accident. Le jour de l'accident, il a commencé son service à 12 h 26. Il a effectué un premier trajet de Villejuif – Louis Aragon à Athis-Mons – Porte de l'Essonne, et effectuait le trajet de retour lorsque l'accident est survenu.

Le conducteur de la rame a été légèrement blessé lors de l'accident. Les dépistages de l'alcoolémie et de la consommation de stupéfiants auxquels il a été soumis après l'accident se sont révélés négatifs.

### 3.5.4 - Les passagers de la rame

Au moment de l'accident la rame de tramway transportait 22 passagers en sus du conducteur. Quatre d'entre eux ont été légèrement blessés dont trois ont été transportés à l'hôpital.

---

16 Dispositif placé à l'extrémité du châssis et destiné à amortir les chocs.

### 3.5.5 - Le trajet d'approche du tramway

La rame est équipée d'une centrale tachymétrique enregistrant notamment sa vitesse et sa position, le déclenchement de commandes liées à la sécurité (freinage de service, freinage d'urgence, gong, etc.) ainsi que l'état de certains paramètres (ouverture des portes, etc.). La rame est également dotée de deux caméras filmant la vue sur la voie depuis chacun des deux postes de conduite, de plusieurs caméras de vidéoprotection filmant l'intérieur de la rame, ainsi que d'un dispositif d'enregistrement sonore. L'analyse croisée de ces enregistrements, après recalage par rapport à l'instant de l'accident, permet de reconstituer le déroulement des événements dans les minutes précédant la collision.

Après avoir démarré de la station Caroline Aigle (cf. figure 6), située sur l'avenue de l'Europe en amont du carrefour n° 40, la rame franchit à faible vitesse la courbe à gauche, limitée à 20 km/h, puis accélère jusqu'à atteindre 40 km/h à une distance d'environ 180 m du carrefour. Le conducteur place alors le manipulateur de traction-freinage en position neutre. La vitesse de la rame augmente encore jusqu'à 42 km/h puis décroît lentement.

Le conducteur actionne le frein de service 3,6 secondes avant la collision, à une distance de 31 m du point d'impact. Le freinage d'urgence est déclenché 1 seconde après la collision et la rame arrête sa course 2,5 secondes plus tard après avoir parcouru une douzaine de mètres. Selon le rapport circonstancié établi par la RATP, le freinage d'urgence s'est déclenché automatiquement suite à la chute du ramasse-corps<sup>17</sup> consécutif au choc.

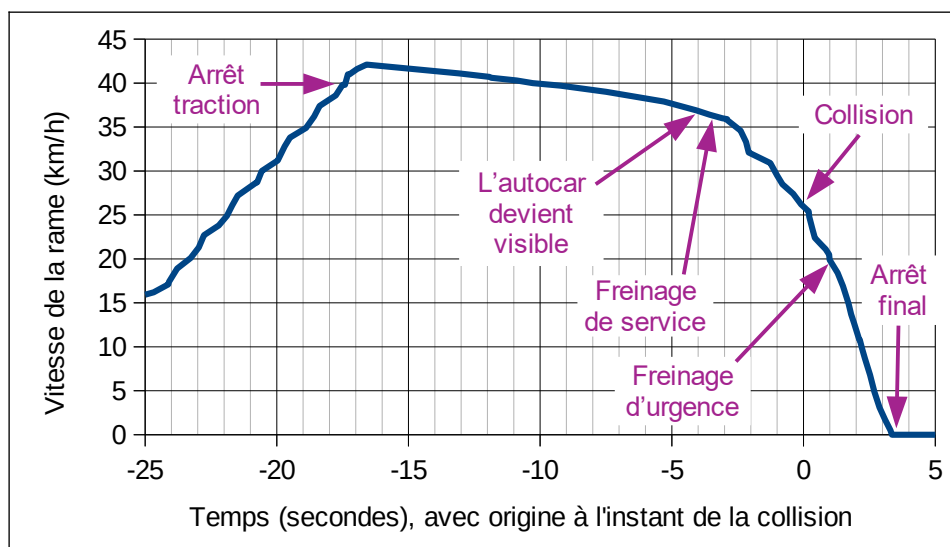


Figure 24 : Evolution de la vitesse de la rame dans les instants précédant et suivant la collision

La définition des images de la vidéo frontale de la rame n'est pas suffisante pour visualiser à grande distance l'état du feu régissant le passage du tramway au carrefour et d'établir l'instant précis où ce feu serait passé au vertical (affichage autorisant le passage, voir la partie 3.3.3). En revanche les images montrent qu'environ une seconde avant que

17 Le ramasse-corps est un système de sécurité actif implanté sous la caisse de la rame, devant chaque bogie d'extrémité, et destiné à éviter qu'un obstacle heurté par l'avant du véhicule ne soit entraîné sous le matériel roulant. Sa chute est déclenchée par un freinage d'urgence ou par la détection d'un corps étranger sous le nez de la rame. Dans ce dernier cas, la chute du ramasse-corps provoque également le déclenchement d'un freinage d'urgence.

la rame ne franchisse la ligne d'effet du feu du tramway, le feu était bien au vertical (cf. figure 26).

Les images montrent également que :

- l'arrivée de l'autocar du côté gauche est perceptible environ 4 s avant la collision,
- l'arrivée de l'automobile du côté droit est perceptible environ 3 s avant la collision,
- l'autocar roule sur la voie de gauche de sa chaussée (cf. figure 27).



Figure 25 : Capture de la vidéo frontale de la rame 3,8 s avant la collision



Figure 26 : Capture de la vidéo frontale de la rame 2,5 s avant la collision, soit environ une seconde avant le franchissement de son feu





Figure 27 : Capture de la vidéo frontale de la rame 1 s avant la collision

L'analyse de l'événement détaillée dans le rapport circonstancié établi par la RATP conclut que « le conducteur Tramway adopte une conduite défensive et réglementaire mais n'imagine à aucun moment que le bus puisse engager le carrefour alors que sa signalisation ne le permet pas ».

### 3.6 - Approfondissement des investigations sur l'accidentalité du carrefour

#### 3.6.1 - Le rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation

##### Le guide d'application du STRMTG

Le contenu du rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation a évolué suite à la parution du décret STPG du 30 mars 2017. Le STRMTG a publié en avril 2018 un guide technique<sup>18</sup> explicitant le contenu du rapport annuel, applicable à compter de la réalisation du rapport élaboré au titre de l'année d'exploitation 2017.

La partie « Analyse détaillée de l'accidentologie » du rapport annuel concerne les accidents avérés ainsi que les précurseurs (analyse des franchissements de signaux ferroviaires fermés, FU manipulateur, etc.). Le guide prévoit notamment dans cette partie des analyses<sup>19</sup> par type d'événements, par lieu géographique et par type de configuration. Les analyses par lieu géographique sont détaillées comme suit :

- Analyse de l'accidentologie par lieu géographique (répartition géographique de l'ensemble des événements sur le réseau) ; en tramway, identification du lieu par le numéro de section ;
- Analyse des précurseurs (franchissement feux ferroviaires fermés par zone de manœuvre, FU manipulateur...) ;
- Analyses sur les intersections accidentogènes le cas échéant ; les intersections accidentogènes étant définies comme ayant eu 3 collisions sur un an ou 1,7 collisions par an en moyenne sur les 10 dernières années, ou un événement grave (1 tué ou blessé grave ou 5 victimes, ou conséquences matérielles importantes) sur la période.

18 Guide d'application relatif au contenu du rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation, STRMTG, avril 2018.

19 Analyse : Étude détaillée d'un objet, d'un phénomène, etc., afin d'en dégager les éléments constitutifs pour mieux le comprendre, le connaître. (Dictionnaire de l'Académie française, 9e édition)

## Le rapport 2017 de la RATP

Selon les éléments publiés par la RATP dans son rapport annuel 2017 sur la sécurité de l'exploitation du réseau de tramway, 9 collisions sont intervenues sur la ligne T7 en 2017, soit un ratio de 0,88 collisions pour 100 000 km commerciaux parcourus. Cette valeur est la plus faible des 8 lignes de tramway exploitées par la RATP, dont le ratio moyen est deux fois plus élevé (1,67 collisions pour 100 000 km commerciaux en 2017).

La partie « Analyse détaillée de l'accidentologie » du rapport comporte essentiellement des statistiques à caractère général, dénombrant les événements intervenus sur chaque ligne selon leur typologie ou le type d'environnement urbain. Elle reste très succincte quant à leur répartition géographique.

S'agissant de la ligne T7, le rapport mentionne les sept sections ayant été le lieu de collisions en 2017 mais ne présente un historique du nombre de collisions que pour la seule section considérée comme accidentogène selon la définition du guide du STRMTG. Il mentionne également le nombre de freinages d'urgence recensés<sup>20</sup> en 2017 (118 au total sur la ligne T7) mais n'identifie pas les sections où ces événements sont intervenus.

Ainsi, le traitement de l'accidentologie par section se résume ici à un simple dénombrement des collisions survenues pendant l'année faisant l'objet du rapport, sans prise en compte des événements précurseurs, sans mise en perspective historique et sans analyse de leurs circonstances.

Le rapport fournit également la liste des sections suivies dans le cadre du comité des gestionnaires ; huit sections sont concernées pour la ligne T7. Il mentionne pour chacune de ces sections le nombre de collisions et de freinages d'urgence intervenus en 2017, ainsi que les principales causes évoquées en comité des gestionnaires.

La section n° 7176 constituée uniquement par le carrefour entre la ligne T7 et la rue Marcel Albert est l'une de ces huit sections ; elle a été le lieu de 2 collisions et 5 freinages d'urgence en 2017. Les conclusions des échanges en comité des gestionnaires relatifs à cette section sont rapportées comme suit : « *Tendance à la hausse en 2017. Augmentation du trafic depuis des travaux réalisés par ADP.* »<sup>21</sup>

Enfin, le rapport s'achève par un récapitulatif du plan d'actions issu de l'analyse de l'accidentalité sur le réseau de tramway. S'agissant de la section n° 7176, la colonne « Actions prévues ou à l'étude » est renseignée ainsi : « *La section reste suivie en comité des gestionnaires* ».

### 3.6.2 - Le suivi dans le cadre du comité des gestionnaires de la ligne T7

Le comité des gestionnaires de la ligne T7 se réunit tous les six mois, sa dernière réunion avant l'accident du 27 février 2019 s'est tenue le 15 novembre 2018. Le compte rendu de cette réunion retrace l'historique des échanges au sein du comité depuis avril 2016.

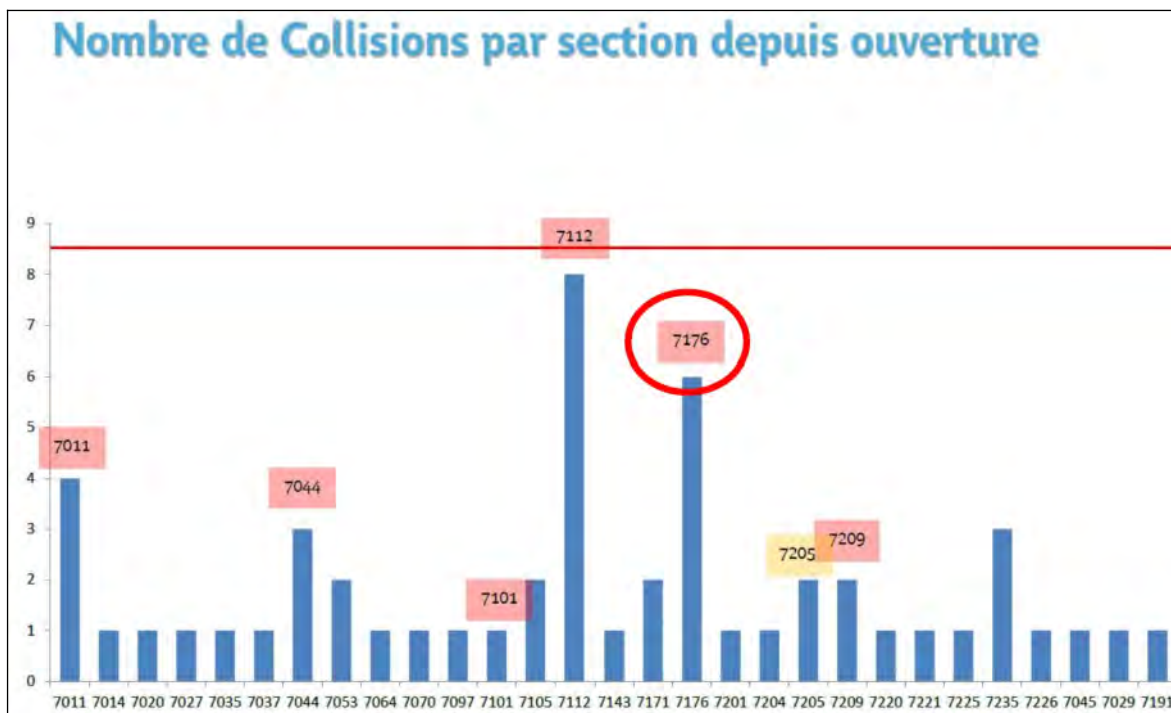
Au 15 novembre 2018, huit sections font l'objet d'un suivi par le comité des gestionnaires, dont la section n° 7176 constituée par le carrefour avec la rue Marcel Albert. Les figures 28 et 29 annexées au compte-rendu de cette réunion affichent respectivement par section, depuis l'ouverture de la ligne, le nombre de collisions et le cumul du nombre de collisions et de freinages d'urgence. Les huit sections suivies sont celles identifiées par des étiquettes sur les deux figures. Aucune ne dépasse le ratio de 1,7 collisions en moyenne par an, représenté par la ligne horizontale rouge sur la figure 28.

---

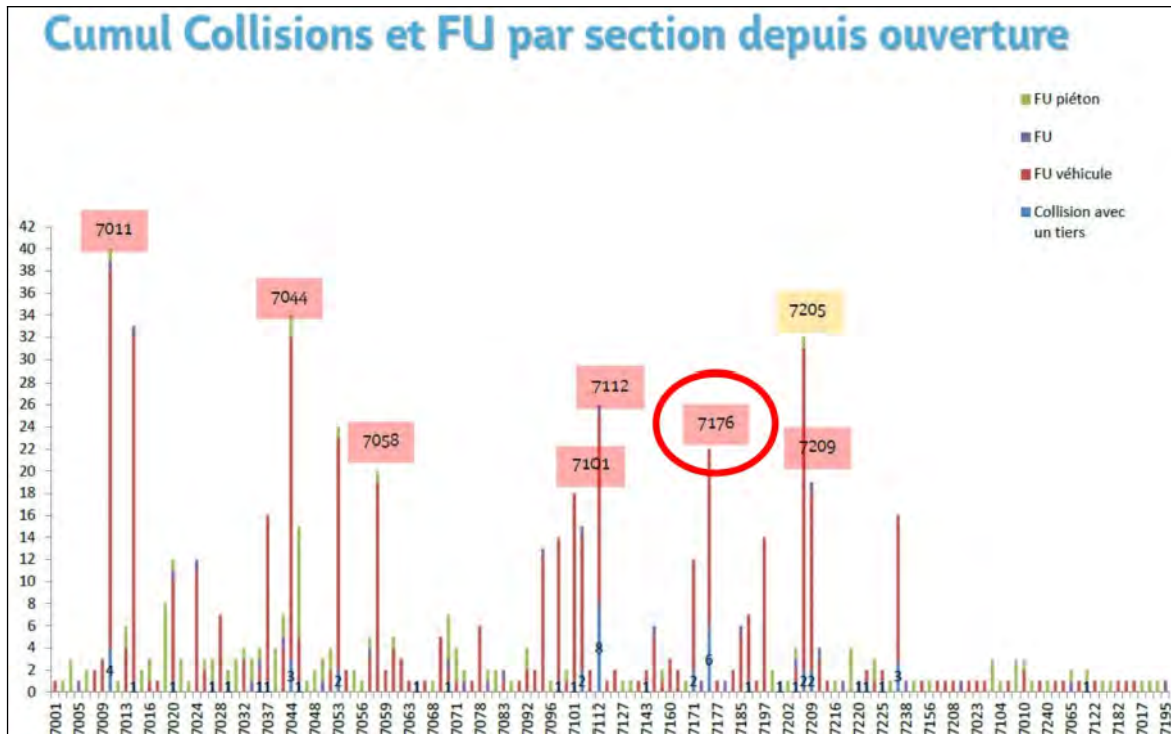
20 À chaque freinage d'urgence, l'agent de conduite doit informer le PC de régulation de la ligne.

21 Précisons que les travaux évoqués sont indépendants du carrefour.

Pour chacune des sections suivies, les accidents sont commentés en réunion et pour la plupart d'entre elles des pistes d'améliorations sont discutées entre les participants.



**Figure 28 : Nombre de collisions par section sur la ligne T7 entre l'ouverture de la ligne et le 15 novembre 2018**  
(source RATP)



**Figure 29 : Nombre de collisions et freinages d'urgence par section sur la ligne T7 entre l'ouverture de la ligne et le 15 novembre 2018**  
(source RATP)

La section n° 7176, constituée par le carrefour avec la rue Marcel Albert, a connu 6 collisions et 16 freinages d'urgence depuis l'ouverture de la ligne, ce qui en fait la deuxième section la plus accidentogène de la ligne en termes de collisions (figure 28), et la classe en septième position pour ce qui concerne le nombre total de collisions et de freinages d'urgence (figure 29). Elle est évoquée lors de chacune des réunions du comité depuis avril 2016. En application du critère du STRMTG (1,7 collisions par an en moyenne sur 10 ans), la section a été considérée comme accidentogène suite à la survenue de deux accidents en 2014. Par la suite la RATP a souhaité maintenir un suivi malgré la baisse du nombre de collisions (une seule collision en 2015).

Toutefois pour ce qui concerne cette section, les échanges tels que rapportés dans les comptes rendus des réunions du comité des gestionnaires se limitent à dénombrer les collisions et les freinages d'urgence intervenus depuis la réunion précédente, et concluent invariablement par la nécessité de poursuivre le suivi. La dernière réunion du 15 novembre 2018 a dépassé ces constats et a donné lieu aux commentaires suivants :

*« 1 collision (août 2018) et 2 FU depuis le dernier comité.*

*L'accidentologie repart à la hausse.*

*Les tiers circulant dans cette zone (sortie d'aéroport) sont pour la plupart désorientés et cherchent leur destination. Ils se dirigent principalement en direction de la rue Marcel Albert. Il n'y a pas de masque à la visibilité.*

*Le comité souhaite avoir, pour le prochain comité, un descriptif précis des dernières collisions. »*

### **3.6.3 - Le suivi dans le cadre des réunions périodiques d'exploitation**

Le suivi de la sécurité de l'exploitation des lignes de tramway fait l'objet de réunions semestrielles entre le STRMTG, la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Île-de-France, IDF Mobilités et la RATP. La ligne T7 est traitée dans le cadre de réunions portant également sur les lignes de tramway T3a, T3b et T8, exploitées par la RATP.

Leur ordre du jour comprend le suivi des actions prévues par l'arrêté de mise en service, pour les lignes les plus récentes (T7 et T8 en l'occurrence), la présentation par la RATP de certains incidents ou accidents survenus sur les quatre lignes depuis la réunion précédente, les modifications envisagées sur les quatre lignes, le suivi des recommandations du STRMTG et le suivi des dossiers de sécurité actualisés pour les lignes les plus anciennes (T3a et T3b). Ces réunions n'ont pas vocation à assurer un suivi de l'ensemble des accidents dont seule une partie, dans une proportion de l'ordre d'un sur cinq, y est présentée. Ainsi les trois dernières collisions survenues sur la section n° 7176 avant l'accident du 27 février 2019 (dont une ayant causé un blessé léger) n'ont pas été évoquées dans ces réunions.

### **3.6.4 - Les collisions intervenues précédemment sur le carrefour**

Les six collisions survenues entre l'ouverture de la ligne T7 et fin 2018 ont eu lieu les :

- 17 janvier 2014 ;
- 8 novembre 2014 ;
- 23 février 2015 ;
- 6 juillet 2017 ;
- 1<sup>er</sup> septembre 2017 ;
- 17 août 2018.

Le STRMTG gère une base de données des événements survenus sur les réseaux de tramway, renseignée par les exploitants. Les informations figurant dans la base à propos de ces collisions indiquent que :

- les 6 collisions sont survenues contre un véhicule routier ayant franchi son feu au rouge ;
- 4 collisions ont eu lieu de jour et 2 de nuit ;
- 5 collisions ont impliqué un véhicule léger, la sixième a impliqué un véhicule lourd (le format de la base de données ne permet pas de distinguer les poids lourds, les autocars et les autobus) ;
- pour 3 des 6 collisions le conducteur de la rame n'a pas déclenché le freinage d'urgence et n'a pas fait usage du klaxon ;
- 2 collisions ont causé chacune un blessé léger, les 4 autres n'ont eu que des conséquences matérielles ; aucune n'a provoqué le déraillement de la rame.

Le tableau suivant dénombre les collisions en fonction du sens de circulation du tramway et du véhicule routier.

		sens de circulation du véhicule routier		Total
		nord - sud	sud - nord	
sens de circulation du tramway	voie 1 (ouest - est)	0	3	<b>3</b>
	voie 2 (est - ouest)	2	1	<b>3</b>
Total		<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>

Peu d'éléments sont disponibles quant aux circonstances plus détaillées des accidents. On relèvera toutefois que :

- selon un compte rendu communiqué par la RATP, le conducteur du véhicule léger impliqué dans l'accident survenu en janvier 2014, qui provenait du sud, a déclaré : « *Je n'ai pas vu le feu rouge qui est juste après le croisement. Je venais juste de redémarrer au premier feu avant le croisement* » ;
- selon le commentaire saisi dans la base de données, le conducteur du véhicule impliqué dans l'accident de février 2015 consultait son navigateur lorsqu'il a franchi son feu rouge.

### 3.6.5 - Les freinages d'urgence

Tout freinage d'urgence doit être immédiatement signalé par l'agent de conduite au régulateur de la ligne, qui saisit l'événement dans une main courante. Dans un second temps, l'encadrement de la ligne reporte les éléments relatifs aux freinages d'urgence dans une base de données spécifique renseignant notamment sa date, sa localisation précise, la voie de circulation du tramway et une description sommaire des circonstances.

Un extrait de cette base de données transmis par la RATP fait apparaître, de janvier 2017 à la date de l'accident objet de la présente enquête (février 2019), un nombre total de 10 freinages d'urgence sur la section n° 7176, soit près de 5 par an en moyenne, tous liés à un défaut de respect de la signalisation par un véhicule routier. Ces événements sont dénombrés dans le tableau suivant en fonction du sens de circulation du tramway et du véhicule routier.

		sens de circulation du véhicule routier		Total
		nord - sud	sud - nord	
sens de circulation du tramway	voie 1 (ouest - est)	3	3	6
	voie 2 (est - ouest)	4	0	4
Total		7	3	10

### 3.6.6 - L'accident du 16 avril 2019

Un mois et demi après l'accident objet de la présente enquête, une nouvelle collision est survenue sur ce carrefour le 16 avril 2019 à 14 h 53. Un poids lourd circulant dans le sens sud-nord a franchi à faible vitesse son feu tricolore au rouge et percuté une rame circulant dans le sens ouest-est qui a déraillé suite à la collision. L'accident a occasionné trois blessés légers, les deux conducteurs ainsi qu'un passager de la rame, et a fortement endommagé la rame. Selon le rapport circonstancié établi par la RATP, « le conducteur Tramway adopte une conduite défensive et réglementaire mais n'imagine à aucun moment que le poids-lourd puisse engager le carrefour alors que sa signalisation ne le permet pas ». Il ne déclenche pas le freinage d'urgence avant la collision. Selon les éléments communiqués par les services de police, le poids lourd circulait initialement rue d'Amsterdam et avait tourné à droite au carrefour n° 39 pour s'engager dans la rue Marcel Albert.

### 3.6.7 - Le suivi par ADP de l'accidentalité sur son réseau routier

Le réseau routier public géré par Aéroports de Paris (ADP) sur la zone aéroportuaire d'Orly totalise une longueur de l'ordre de 38 km. Selon les responsables d'ADP rencontrés par les enquêteurs du BEA-TT, l'intersection de la rue Marcel Albert et de la ligne T7 n'était pas considérée, jusqu'à l'accident du 27 février 2019, comme étant d'une dangerosité particulière, et ne faisait pas l'objet d'un suivi spécifique.

De façon plus générale, ADP ne recense pas les accidents survenus sur son réseau, car leur nombre est considéré comme faible ; cependant les interlocuteurs rencontrés par le BEA-TT n'ont pas été en mesure de donner un ordre de grandeur de ce nombre, y compris pour ce qui concerne les accidents corporels.

Le fichier national de l'accidentalité routière, alimenté par les forces de l'ordre et géré par l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR), recense l'ensemble des accidents corporels sur lesquels sont intervenus les services de police et de gendarmerie. La structure de ce fichier ne comporte pas de rubrique permettant pour chaque accident d'identifier le gestionnaire routier en charge de l'axe concerné. Il est toutefois possible d'estimer le nombre d'accidents corporels survenus sur le réseau routier géré par ADP sur la zone aéroportuaire d'Orly en sélectionnant dans ce fichier l'ensemble des accidents localisés en Essonne et en Val-de-Marne dans la zone de compétence de la police aux frontières, qui couvrait l'ensemble de la zone aéroportuaire jusqu'à la fin de l'année 2018, et en ne retenant parmi ceux-ci que les accidents survenus sur une voie communale ou sur un parc de stationnement ouvert à la circulation publique.

Pour la période 2013-2017, une exploitation du fichier « Accidents » produite par l'ONISR fait apparaître 67 accidents corporels répondant à ces critères, ayant occasionné 85 blessés dont 22 hospitalisés pendant plus de 24 h (soit une moyenne annuelle de 13 accidents corporels et 17 blessés dont 4 hospitalisés plus de 24 h).

### 3.7 - **Approfondissement des investigations : les consignes RATP de franchissement du carrefour**

La règle générale en vigueur sur l'ensemble des lignes de tramway exploitées par la RATP, stipulée dans son règlement de sécurité de l'exploitation du tramway (RSE), est une vitesse maximale d'entrée dans un carrefour de 40 km/h. Cette vitesse peut être diminuée sur certains carrefours pour des raisons liées à la configuration du lieu. Dans ce cas, une signalisation spécifique est mise en place. Le carrefour n° 38 ne possède pas de signalisation spécifique, la vitesse d'approche et de franchissement maximale est donc de 40 km/h. Cette vitesse limite a été respectée par le conducteur.

Au-delà de ces vitesses maximales, la conduite d'un tramway nécessite de la part du conducteur une vigilance constante et une nécessaire adaptation de la vitesse d'approche au contexte évolutif de la circulation. Le RSE stipule ainsi que le conducteur est soumis à deux règles intangibles : tout d'abord l'obéissance passive et immédiate à la signalisation et ensuite les exigences de la marche à vue, qui « *consiste à adapter sa vitesse en fonction de l'environnement de la partie de voie qu'il aperçoit devant lui, de manière à pouvoir s'arrêter dans les meilleures conditions possibles, quelles que soient les circonstances, avant un obstacle* ».

### 3.8 - **Les suites données à l'accident**

Suite à l'accident du 27 février 2019, la RATP a proposé à ADP certains aménagements sur la rue Marcel Albert à l'approche du carrefour :

- dans le sens de circulation nord-sud, la mise en place d'un ralentisseur de type « coussin » et l'installation d'un panneau Tramway (A9b) équipé d'un système « flash » ;
- dans le sens de circulation sud-nord, une modification de la disposition des panneaux pouvant présenter un masque à la visibilité des feux tricolores.

Suite à l'accident du 16 avril 2019, la RATP a mis en place à titre de mesure conservatoire une note de circulation sécurité à l'intention des conducteurs, entrée en vigueur le 18 avril 2019, qui abaisse la vitesse à 20 km/h dans l'intégralité du carrefour. Elle a également proposé à ADP, outre les aménagements mentionnés plus haut :

- dans les deux sens de circulation, le remplacement de la lentille rouge du feu tricolore, de diamètre 200 mm, par une lentille de 300 mm ;
- la réalisation de bandes rugueuses au sol sur la double voie ;
- la pose sur les feux de dispositifs destinés à augmenter le contraste et la visibilité.

Le 22 mai 2019, la Présidente de la RATP a saisi directement par courrier le Président d'ADP « *pour qu'une opération de reprise du carrefour soit lancée très rapidement [...] pour traiter cette zone à risque en urgence* », lui rappelant notamment que l'accidentalité du carrefour s'élevait entre fin 2013 et le 15 novembre 2018 à 7 collisions avec tiers et 18 freinages d'urgence tramway<sup>22</sup>.

ADP a réalisé dans le courant de l'été 2019 les aménagements suivants :

- dans le sens de circulation sud-nord, les panneaux de position (C27, C20a, C20c) masquant précédemment les feux ont été écartés du bord de la chaussée (figure 31, à comparer à la configuration initiale en figure 13) ;

---

<sup>22</sup> À noter que les chiffres mentionnés dans ce courrier sont légèrement plus élevés que ceux dont le BEA-TT a eu connaissance.

- dans les deux sens de circulation, le bloc des feux tricolores a été remplacé par un nouveau bloc avec une lentille de 300 mm pour le feu rouge (figure 30) ;
- dans les deux sens de circulation, les panneaux A9b « Tramway » conventionnels ont été remplacés par des panneaux à leds clignotantes ;
- dans le sens de circulation nord-sud, un ralentisseur a été implanté en amont du carrefour.

Par ailleurs, pour l'information et la sensibilisation de ses conducteurs, la RATP a affiché suite à chacun des deux accidents une information dans les salles de prise de service des conducteurs de la ligne T7, ainsi qu'une description des principales zones accidentogènes de la ligne.

La mesure conservatoire de limitation de la vitesse des tramways dans la traversée du carrefour a été relevée à 30 km/h le 5 février 2020.



**Figure 30 : Nouveau bloc de feux tricolores avec lentille de feu rouge de diamètre 300 mm**  
(photo BEA-TT)



**Figure 31 : Vue vers le carrefour n° 38 dans le sens de circulation sud-nord, après déplacement de la signalisation de position**  
(photo BEA-TT)

De son côté, la société Les Cars d'Orsay a effectué une analyse de l'accident qui n'a pas identifié d'autre cause que le franchissement du feu rouge par l'autocar. Elle n'a pas jugé nécessaire de renforcer ses actions de prévention dans la mesure où la règle enfreinte était une règle de base parfaitement connue de tous.



## 4 - Restitution du déroulement de l'accident et des secours

### 4.1 - La situation avant l'accident

Le mercredi 27 février 2019 est une journée ensoleillée, comme la journée précédente. La température minimale est de 2 °C, la maximale est de 21 °C. Aucun phénomène de brouillard n'est présent. À l'heure où s'est produit l'accident, 13 h 20, le soleil était haut dans le ciel, la température était de 20 °C, les chaussées étaient sèches.

Le conducteur de l'autocar a pris son service à 7 h 55. C'est le troisième jour qu'il assure le service sur cet itinéraire mais il le connaît pour l'avoir déjà pratiqué antérieurement. Il entame vers 13 h son dernier trajet de la journée à partir de l'aérogare d'Orly Ouest. Il rejoint ensuite avec difficulté, du fait des encombrements, l'arrêt suivant à l'aérogare d'Orly Sud, puis emprunte l'autoroute A106. Il quitte l'autoroute par la bretelle de sortie donnant sur la rue Marcel Albert, et s'arrête au feu rouge situé au carrefour n° 39. Durant ce trajet ainsi qu'une partie de l'arrêt au carrefour n° 39, le conducteur est sollicité assez longuement par une passagère.

Le conducteur du tramway était de repos la veille de l'accident. Le jour de l'accident, il a pris son service à 12 h 26 et a déjà effectué un premier trajet Villejuif => Athis-Mons. Il débute le trajet retour Athis-Mons => Villejuif. Après avoir démarré de la station Caroline Aigle, il franchit à faible vitesse la courbe à gauche, limitée à 20 km/h, et aborde la ligne droite de 280 m précédant le carrefour où a eu lieu l'accident.

### 4.2 - Le déroulement de l'accident

La succession des événements est présentée en utilisant comme référence l'horloge de la centrale tachymétrique de la rame de tramway. Pour une meilleure compréhension, chaque instant est également exprimé par référence à l'instant de la collision, noté Tc.

13 h 19 min 35 s : (Tc – 26 s) La rame de tramway aborde la ligne droite et reprend progressivement de la vitesse.

13 h 19 min 44 s : (Tc – 17,5 s) La rame est à 180 m du carrefour, sa vitesse est de 40 km/h. Le conducteur de la rame place le manipulateur de traction-freinage en position neutre.

13 h 19 min 46,5 s : (Tc – 15 s) L'autocar redémarre du carrefour n° 39.

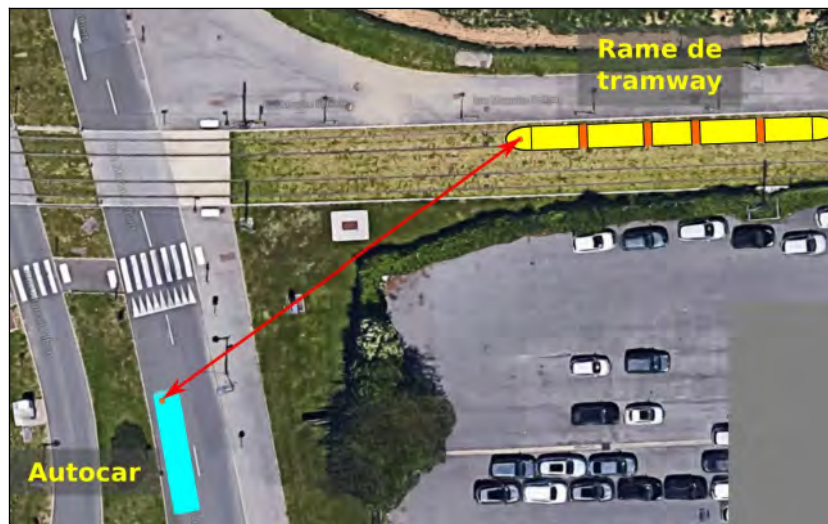
13 h 19 min 54,5 s : (Tc – 7 s) L'autocar stabilise sa vitesse à 27 km/h, à 31 m avant le feu tricolore réglant la traversée du carrefour n° 38.

13 h 19 min 57,4 s : (Tc – 4,3 s) À compter de cet instant chacun des deux conducteurs peut voir l'autre véhicule, mais le conducteur de l'autocar ne perçoit pas l'arrivée de la rame.  
La rame de tramway roule à 37 km/h et se trouve à 38 m de la trajectoire de l'autocar.  
L'autocar roule à 27 km/h et se trouve à 10 m avant le feu tricolore.

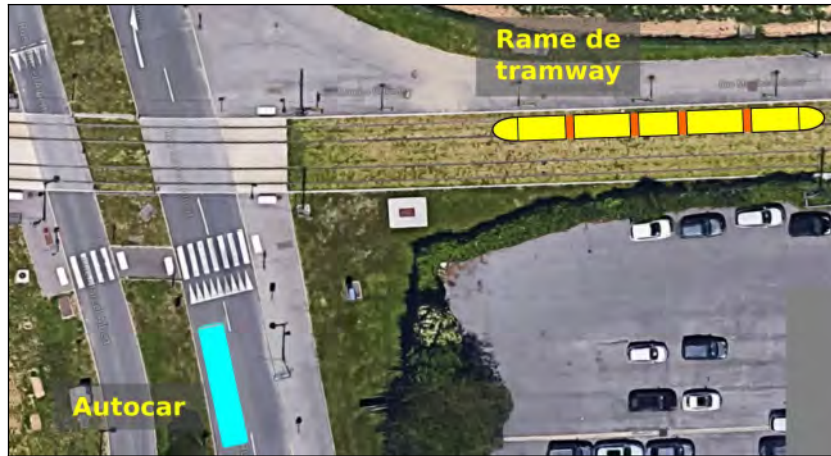
13 h 19 min 58,1 s : (Tc – 3,6 s) Le conducteur de la rame actionne le frein de service, à 27 m du carrefour et à 31 m de la trajectoire de l'autocar.

- 13 h 19 min 58,7 s : ( $T_c - 3$  s) L'autocar franchit la ligne d'effet de son feu, à 27 km/h. Une automobile s'approche du carrefour dans le sens nord-sud.
- 13 h 19 min 59,7 s : ( $T_c - 2$  s) L'autocar accélère légèrement.
- 13 h 20 min 01,7 s : ( $T_c$ ) La rame percute l'arrière droit de l'autocar et déraile. L'autocar freine fortement. Lors de la collision la vitesse de la rame est de 26 km/h, celle de l'autocar est de 31 km/h.
- 13 h 20 min 02,7 s : ( $T_c + 1$  s) Le freinage d'urgence de la rame est déclenché par la chute du ramasse-corps.
- 13 h 20 min 05 s : ( $T_c + 3,3$  s) La rame s'immobilise contre la bordure du terre-plein central de la rue Marcel Albert après avoir parcouru une douzaine de mètres suite à la collision.
- 13 h 20 min 08 s : ( $T_c + 6$  s) L'autocar s'arrête sur le trottoir après avoir parcouru environ 25 m.

Les éléments disponibles ne permettent pas de visualiser l'état des feux tricolores routiers au moment où l'autocar a franchi leur ligne d'effet ( $T_c - 3$  s). Toutefois les images de la caméra vidéo équipant le tramway montrent clairement le feu du tramway en position verticale à  $T_c - 2,5$  s. Or la matrice de sécurité du carrefour définie dans le dossier de régulation impose un délai minimal de 2 s entre le passage au rouge des feux routiers et le passage au vertical des feux du tramway, et le délai effectivement programmé est de 4 s. Les enquêteurs du BEA-TT considèrent par conséquent comme établi que l'autocar s'est engagé dans le carrefour n° 38 alors que les feux routiers étaient au rouge, et ce depuis au moins 3,5 s.



**Figure 32 : Positions des véhicules au moment où chacun des conducteurs a pu pour la première fois voir l'autre véhicule (4,3 s avant la collision)**



**Figure 33 : Positions des véhicules au moment où la rame de tramway commence à freiner (3,6 s avant la collision)**



**Figure 34 : Positions des véhicules au moment où l'autocar franchit la ligne d'effet de son feu (environ 3 s avant la collision)**



**Figure 35 : Positions des véhicules 2 s avant la collision**



Figure 36 : Positions des véhicules 1 s avant la collision

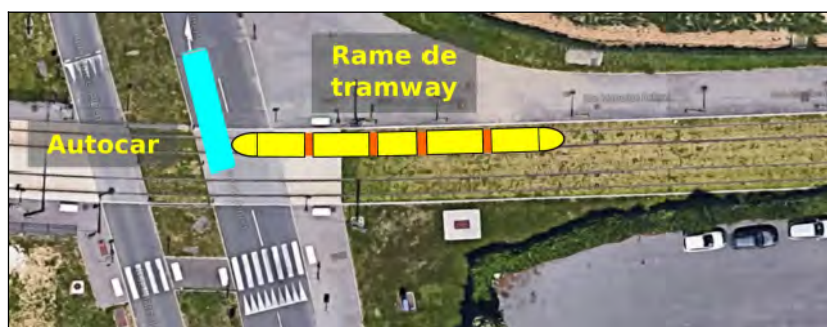


Figure 37 : Positions des véhicules au moment de la collision

Le BEA-TT a simulé le déroulement de l'événement dans l'hypothèse où le conducteur de la rame aurait décidé de déclencher le freinage d'urgence lorsque l'autocar a franchi la ligne d'effet de ses feux ( $T_c - 3$  s). Compte tenu du fait que la rame était déjà en freinage de service, ce qui réduit le temps de réaction machine, l'hypothèse adoptée est un temps de réaction total du conducteur et de la machine de 1 s. Le freinage d'urgence aurait donc été effectif à partir de  $T_c - 2$  s, instant auquel la vitesse de la rame était de 32 km/h. Dans ces conditions, la rame se serait arrêtée 3 m avant la trajectoire de l'autocar.

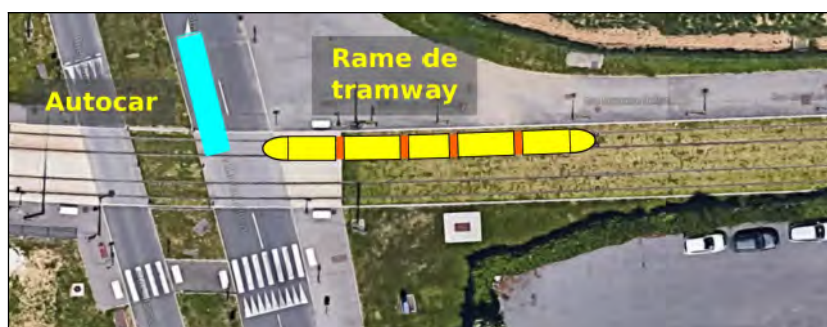


Figure 38 : Position d'arrêt de la rame dans l'hypothèse où le conducteur aurait décidé de déclencher le freinage d'urgence à  $T_c - 3$  s, et position de l'autocar à l'instant de cet arrêt ( $T_c + 0,2$  s)

### 4.3 - Alerte et organisation des secours

Les services de secours et les forces de l'ordre ont été alertés par le PC de régulation de la RATP ainsi que par plusieurs passagers. Les premiers sapeurs-pompiers sont arrivés sur les lieux 17 minutes après réception de l'alerte.

Des effectifs de sapeurs-pompiers ont été mobilisés en provenance de plusieurs casernes de la BSPP ainsi que du service départemental d'incendie et de secours de l'Essonne, regroupant une dizaine de véhicules d'intervention. L'équipage d'une ambulance de la Croix-Rouge est venu renforcer les effectifs des sapeurs-pompiers.

Les services d'astreinte et de la sûreté de la RATP se sont rendus sur les lieux, tout comme les cadres d'astreinte de l'exploitant de la ligne 91.10.

#### 4.4 - Bilan de l'accident

Les conséquences corporelles de cet accident sont d'un blessé hospitalisé pendant cinq jours et de six blessés légers parmi les passagers de l'autocar, ainsi que de quatre blessés légers parmi les passagers du tramway.

Les conséquences matérielles sur les véhicules sont importantes.

L'autocar a subi des dégâts importants mais réparables, essentiellement au niveau de l'arrière du côté droit (vitres, carrosserie, châssis, équipements intérieurs, etc.). Suite à l'accident, il a pu être remorqué à l'atelier de la société de transport.

La rame de tramway a subi des dégâts importants mais réparables, essentiellement au niveau de la cabine de conduite (vitres, carrosserie, châssis, liaisons électriques, etc). Suite à l'accident, les équipes de la RATP ont pu procéder à une remise sur les rails (ré-enraille) de la rame accidentée. Après les vérifications nécessaires, la rame a pu être amenée au centre de remisage de l'exploitant.



*Figure 39 : Opération de remise sur les rails de la rame accidentée  
(source RATP)*

Les dégâts tant sur l'infrastructure du tramway que sur l'infrastructure routière sont légers et n'ont pas nécessité de travaux de remise en état avant réouverture à la circulation.

En matière d'exploitation, la circulation des tramways a été totalement interrompue de 13 h 22 à 15 h 08 suite à la coupure de l'alimentation électrique des caténaires. Un service de bus de substitution a alors été mis en place. L'exploitation en mode nominal sur l'ensemble de la ligne a repris à 17 h 30, soit 4 heures après la collision.



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

### 5.1 - Le schéma des causes et des facteurs associés

Les investigations conduites permettent d'établir le schéma ci-après qui synthétise le déroulement de l'accident et en identifie les causes et les facteurs associés.



Figure 40 : Schéma des causes et des facteurs associés

## 5.2 - Les causes de l'accident

La cause directe de l'accident est le franchissement de l'intersection par l'autocar alors que la signalisation (feux routiers) lui imposait l'arrêt.

La non-perception des feux routiers par le conducteur de l'autocar, l'attention du conducteur du tramway portée à un véhicule venant en sens inverse de l'autocar et l'absence de freinage d'urgence de la rame ont contribué à la collision.

L'analyse des causes conduit le BEA-TT à rechercher des orientations préventives dans les domaines suivants :

- la sensibilisation des conducteurs des lignes de transports publics routiers ;
- l'aménagement et la signalisation de l'intersection entre la rue Marcel Albert et la plateforme du tramway (carrefour n° 38), ainsi que les principes de fonctionnement des feux de circulation ;
- la conduite anticipative chez les conducteurs de tramway.

Le retour d'expérience sur les accidents intervenus sur ce carrefour conduit également le BEA-TT à rechercher des orientations préventives relatives au suivi de l'accidentalité par les différents gestionnaires d'infrastructures.

Dans le cadre de cette enquête, le BEA-TT a également analysé les enjeux de sécurité liés à la motorisation des véhicules au gaz naturel. Bien que le mode de propulsion de l'autocar n'ait pas joué de rôle dans l'accident, cette analyse conduit le BEA-TT à rechercher des orientations préventives dans le domaine de la formation des conducteurs de véhicules de transport en commun roulant au GNC.

## 5.3 - La sensibilisation des conducteurs des lignes de transports publics routiers

La cause directe de l'accident est le franchissement de l'intersection par l'autocar alors que les feux routiers étaient rouges. La règle enfreinte est suffisamment notoire pour ne pas nécessiter d'être rappelée aux conducteurs.

Ce franchissement des feux rouges a pu être favorisé par le manque de concentration du conducteur suite aux encombrements subis dans la zone des aérogares puis à la longue sollicitation par une passagère. Les formations dispensées aux conducteurs de transports publics, notamment celles prévues par la réglementation<sup>23</sup>, abordent déjà les comportements à adopter pour gérer de telles perturbations.

L'analyse de l'accident suggère que la configuration du carrefour pourrait également avoir contribué à la survenue de l'accident. À cet égard, il serait souhaitable que les conducteurs d'une ligne de transports publics routiers aient une bonne connaissance des secteurs de la ligne les plus susceptibles d'être le lieu d'un accident, afin de renforcer leur vigilance sur ces secteurs particuliers. Selon les informations communiquées au BEA-TT, la société de transports Les Cars d'Orsay n'organise pas, en cas d'accident impliquant l'un de ses véhicules, de retour d'information spécifique vers les conducteurs de la ligne.

---

23 Arrêté du 3 janvier 2008 relatif au programme et aux modalités de mise en œuvre de la formation professionnelle initiale et continue des conducteurs du transport routier de marchandises et de voyageurs.



Le BEA-TT invite la société Les Cars d'Orsay à :

- diffuser, suite à chaque accident impliquant l'un de ses véhicules, une information générale à l'ensemble des conducteurs de la ligne concernée leur présentant les lieux, les circonstances de l'événement et son analyse des pistes pour éviter que de tels événements ne se reproduisent ;

- prévoir, lors de la formation interne de reconnaissance d'une ligne dispensée à chaque nouveau conducteur, le signalement des lieux et des circonstances d'accidents antérieurement survenus aux véhicules de la ligne.

## **5.4 - L'aménagement et la signalisation du carrefour n° 38, les principes de fonctionnement des feux de circulation**

### **5.4.1 - L'aménagement et la signalisation du carrefour n° 38**

Dans la configuration existant à la date de l'accident, la signalisation de position (panneaux C27, C20a, C20c) implantée dans le sens de circulation sud-nord au droit du plateau surélevé est susceptible de masquer en partie les feux tricolores gérant la traversée des voies du tramway. Il convient de noter qu'aux termes de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (IISR), la signalisation d'un passage piétons par le panneau C20a est facultative (art. 72-1). Le même article précise par ailleurs que la signalisation de position d'une traversée de voies de tramway, assurée par le panneau C20c, n'est obligatoire que si la traversée n'est pas munie d'une signalisation lumineuse tricolore.

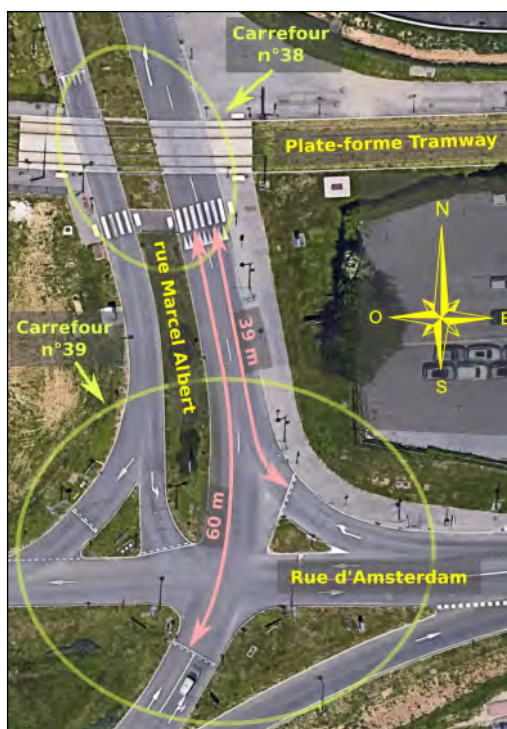
Cette signalisation de position a fait l'objet, durant la phase de conception du projet de la ligne T7, d'échanges entre l'organisme qualifié agréé (OQA) en charge de l'évaluation indépendante du dossier de sécurité et le maître d'ouvrage. Ce dernier y a notamment affiché son intention « de retirer les panneaux C20a et C20c afin d'éclaircir au maximum la signalisation », mais en définitive ces panneaux ont été conservés, pour un motif dont le BEA-TT n'a pas eu connaissance.

En application du plan d'actions adopté conjointement avec la RATP suite aux deux accidents des 27 février et 16 avril 2019, ADP a déplacé dans le courant de l'été 2019 les panneaux de position (C27, C20a, C20c) masquant précédemment les feux de circulation routiers dans le sens sud-nord, pour les écarter du bord de la chaussée, et a installé dans les deux sens de circulation de nouveaux blocs de feux tricolores comportant pour le feu rouge une lentille de diamètre 300 mm.

Considérant que ces modifications de la signalisation améliorent substantiellement la détectabilité des feux routiers, le BEA-TT ne formule en conséquence pas de recommandation sur ce thème.

### **5.4.2 - La coordination des feux de circulation**

Pour un véhicule provenant de la rue d'Amsterdam, à l'est, et tournant au carrefour n° 39 vers le nord dans la rue Marcel Albert, la distance entre la ligne d'effet du feu de ce carrefour et celle du feu protégeant l'intersection avec la plate-forme de tramway (carrefour n° 38) est d'environ 39 m. En outre, compte tenu de son mouvement de tourne-à-droite, le feu du carrefour n° 38 n'apparaît dans le champ de vision du conducteur qu'à une distance plus faible, de l'ordre de 30 m, une fois sa giration achevée.



**Figure 41 : Distances entre les lignes d'effet des feux des carrefours n° 39 et 38**

Le fonctionnement des feux des deux carrefours étant totalement indépendant, le feu vert peut être donné à un véhicule arrêté au carrefour n° 39 alors que le feu routier protégeant l'intersection avec la plate-forme de tramway est au rouge, ou doit passer au rouge de façon imminente. Dans une telle situation, un conducteur non familier des lieux ne s'attend généralement pas à rencontrer à nouveau un feu rouge à une distance aussi proche de son point d'arrêt précédent ; il risque ainsi de ne le détecter que tardivement, voire de ne pas le percevoir et de s'engager dans le carrefour. À noter que le poids lourd impliqué dans l'accident du 16 avril 2019 provenait de la rue d'Amsterdam et avait tourné à droite au carrefour n° 39.

Un tel risque existe également, dans une moindre mesure, pour un véhicule provenant de la bretelle de sortie de l'autoroute A106, au sud, la distance entre les deux lignes d'effet des feux étant alors d'une soixantaine de mètres.

Le BEA-TT estime ainsi souhaitable d'éviter, dans la mesure du possible, une situation dans laquelle le feu vert serait donné à un véhicule arrêté au carrefour n° 39 et se dirigeant vers le nord alors que le feu routier protégeant l'intersection avec la plate-forme de tramway serait au rouge, ou devrait passer au rouge de façon imminente.

En conséquence, bien que ce facteur n'ait pas *a priori* joué de rôle dans l'accident objet du présent rapport d'enquête, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

**Recommandation R1 adressée à Aéroports de Paris (ADP) :**

**Étudier la faisabilité d'une synchronisation des feux de circulation des carrefours n° 38 et 39 imposant, lors du passage au rouge des feux routiers du carrefour n° 38, le passage ou le maintien au rouge des feux du carrefour n° 39 destinés aux courants de circulation se dirigeant vers le carrefour n° 38.**

### 5.4.3 - Les matrices de sécurité des feux de circulation

La matrice de sécurité du carrefour n° 38 impose un délai minimal de 2 s entre le passage au rouge des feux routiers et le passage au vertical des feux du tramway. Ce délai, appelé « temps de dégagement », est fondé sur l'hypothèse générale, applicable sauf exception à l'ensemble des carrefours de la ligne T7, d'une vitesse de franchissement par les véhicules légers de 10 m/s.

Le délai effectivement programmé à ce jour sur le carrefour n° 38 est plus long puisqu'il s'élève à 4 s. Toutefois ce paramètre peut être aisément modifié par une intervention simple sur le contrôleur de feux, tant qu'il reste au moins égal à la valeur inscrite dans la matrice de sécurité.

Comme évoqué en partie 3.3.3, les hypothèses fondant le calcul du temps de dégagement figurant dans la matrice de sécurité ne paraissent pas adaptées à la configuration du carrefour n° 38 et au trafic qui y circule :

- la vitesse maximale autorisée sur ce carrefour est fixée à 30 km/h, soit 8,3 m/s, valeur inférieure à l'hypothèse prise en compte ;
- le trafic sur le carrefour n° 38 comporte un nombre significatif de véhicules de transport en commun et de poids lourds ; pour les véhicules articulés (autobus ou PL avec semi-remorque), la présence d'un plateau surélevé impose une vitesse de franchissement plus faible que 30 km/h, une hypothèse de vitesse de l'ordre de 20 km/h semblerait plus adaptée à ces véhicules ;
- le calcul d'un temps de dégagement adapté aux véhicules lourds doit également tenir compte de leur longueur, qui peut dépasser 18 m pour un poids lourd.

En conséquence, compte tenu du risque que présente ce facteur pour la sécurité, et bien qu'il n'ait pas joué de rôle dans l'accident objet du présent rapport d'enquête, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

#### **Recommandation R2 adressée à Aéroports de Paris (ADP) :**

**Réétudier les temps de dégagement de la matrice de sécurité du carrefour n° 38 en se fondant sur des hypothèses de vitesse des véhicules routiers plus représentatives et en tenant compte de la présence de véhicules longs, et modifier si nécessaire les délais inscrits dans la matrice actuelle.**

Les facteurs spécifiques relevés ci-dessus pour le carrefour n° 38 (vitesse maximale autorisée inférieure à 10 m/s, nombre significatif de véhicules longs) peuvent se rencontrer également sur d'autres carrefours à feux de la ligne T7. Il conviendrait par conséquent de vérifier que le temps de dégagement inscrit dans la matrice de sécurité de tels carrefours prend bien en compte ces facteurs.

Chaque matrice de sécurité est définie dans le dossier de sécurité de la ligne T7. Chaque gestionnaire de voirie routière, propriétaire du contrôleur de feux, est responsable de la définition de la matrice associée. Le dossier de sécurité de la ligne est de la responsabilité d'Île-de-France Mobilités, qui a délégué à la RATP la coordination de l'établissement des différents dossiers de sécurité relatifs aux modifications apportées par les maîtres d'ouvrages concernés.

En conséquence, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

**Recommandation R3 adressée à Île-de-France Mobilités et à la RATP :**

**Pour chacun des carrefours de la ligne T7 sur lesquels la vitesse maximale autorisée pour les véhicules routiers est de 30 km/h ou moins, ou sur lesquels le trafic routier comporte un nombre significatif de véhicules longs, faire procéder par l'entité propriétaire du contrôleur de feux à une vérification de la pertinence des temps de dégagement inscrits dans la matrice de sécurité, compte tenu de ces spécificités.**

## **5.5 - La conduite anticipative chez les conducteurs de tramway**

Le règlement de sécurité de l'exploitation du tramway pose comme principe fondamental que le conducteur doit adapter sa vitesse en fonction de l'environnement de la partie de voie qu'il aperçoit devant lui, de manière à pouvoir s'arrêter dans les meilleures conditions possibles, quelles que soient les circonstances, avant un obstacle.

Pour autant, le déclenchement du freinage d'urgence par le conducteur du tramway lorsqu'une collision est imminente est loin d'être systématique. Cela n'a pas été le cas lors de trois des six collisions survenues sur le carrefour n° 38 entre 2014 et 2018. Ce n'a pas été non plus le cas lors des deux accidents des 27 février et 16 avril 2019, les deux conducteurs impliqués estimant à tort que le véhicule routier allait respecter son feu tricolore.

*Le BEA-TT invite la RATP à rappeler périodiquement aux conducteurs de tramway la nécessité de conserver en permanence une attitude anticipative vis-à-vis de la possibilité que des tiers ne respectent pas la signalisation ou les règles élémentaires de prudence.*

## **5.6 - Le suivi de l'accidentalité par les gestionnaires d'infrastructures**

### **5.6.1 - Le suivi de l'accidentalité du carrefour n° 38 et de la ligne T7**

Six collisions entre une rame de tramway et un véhicule routier ainsi que 16 freinages d'urgence sans collision ont eu lieu sur le carrefour n° 38 entre novembre 2013, date de la mise en service de la ligne T7, et la fin de l'année 2018. Le carrefour constituait ainsi la deuxième section la plus accidentogène de la ligne en termes de collisions et se classait en septième position pour ce qui concerne le nombre total de collisions et de freinages d'urgence. Pour autant, aucune analyse détaillée de l'accidentalité de cette section n'avait été engagée à la date de l'accident objet de la présente enquête.

Les conséquences des six collisions antérieures sont restées limitées : seules deux ont causé chacune un blessé léger, et aucune n'a provoqué le déraillement de la rame. Toutefois, la légèreté de ce bilan tient en premier lieu à la nature du véhicule routier antagoniste, un véhicule léger pour cinq des six collisions ; les accidents du 27 février 2019 et du 16 avril 2019, impliquant un autocar avec passagers puis un poids lourd, ont chacun provoqué le déraillement de la rame et causé plusieurs blessés ainsi que des dégâts conséquents sur le matériel roulant.

Le suivi de la section par le comité des gestionnaires de la ligne T7 s'est résumé, jusqu'à sa réunion du 15 novembre 2018, à un dénombrement des collisions et des freinages d'urgence intervenus depuis la réunion précédente. Le rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation relatif à l'année 2017, supposé présenter l'accidentologie de la ligne T7 par section, n'évoque celle-ci que sous la forme d'un décompte des collisions survenues pendant l'année considérée, sans prise en compte des événements précurseurs comme

les freinages d'urgence, sans mise en perspective historique et sans analyse des circonstances de ces collisions.

La RATP souligne que les services de l'État en charge du contrôle de l'exploitation n'ont jamais demandé d'analyse approfondie de l'accidentalité sur cette section, qui par ailleurs n'était pas considérée comme accidentogène au sens de la définition du guide du STRMTG.

Il convient à cet égard de rappeler les responsabilités définies par l'article 81 du décret STPG : « *L'autorité organisatrice de transport, l'exploitant, le gestionnaire d'infrastructure, le chef de file et le gestionnaire de voirie veillent, chacun pour ce qui le concerne, à ce que, pendant toute la durée de l'exploitation, le niveau de sécurité vis-à-vis des usagers, des personnels d'exploitation et des tiers soit maintenu.* » Les services de l'État ne sont investis que d'une mission de contrôle qui n'a pas vocation à remplacer la nécessaire vigilance attendue de l'exploitant.

Le BEA-TT estime également que la définition d'une section accidentogène figurant dans le guide d'application du STRMTG relatif au contenu du rapport annuel sur la sécurité de l'exploitation ne dispense pas l'exploitant de conduire une réflexion sur d'autres sections. Il observe que le guide du STRMTG demande non seulement une analyse sur les sections accidentogènes mais également une analyse de l'accidentologie par section ainsi qu'une analyse des précurseurs tels que les freinages d'urgence.

Le BEA-TT considère qu'un nombre significatif de collisions survenues sur la même section constitue, indépendamment de leur gravité, une alerte pour les acteurs concernés (exploitant du tramway, gestionnaire de voirie) qui devrait les conduire systématiquement à engager une analyse détaillée des circonstances de ces accidents et du fonctionnement du carrefour, afin d'identifier les configurations les plus fréquentes et d'orienter vers des pistes d'améliorations. De telles analyses devraient être conduites, au minimum, sur les sections de chaque ligne présentant les nombres de collisions les plus élevés, le nombre de sections concernées devant nécessairement être apprécié selon le contexte et ne pouvant être déterminé par l'application d'un critère unique.

L'efficacité de cette démarche est tributaire de la qualité du recueil immédiat des informations consécutif à chaque collision, notamment ses circonstances et son environnement.

Dans un précédent rapport d'enquête relatif à un accident de tramway survenu à Saint-Denis (93)<sup>24</sup>, le BEA-TT avait identifié parmi les causes de l'accident des défauts de conception du carrefour concerné et de la signalisation associée, qui n'avaient pas été mis en évidence antérieurement malgré la survenue de plusieurs accidents sur le même carrefour les années précédentes. Parmi les insuffisances du retour d'expérience sur les accidents, le BEA-TT soulignait notamment des « *analyses annuelles de l'accidentologie se limitant essentiellement à classer les carrefours selon le nombre d'accidents s'y étant produits au cours de l'année écoulée* ». Le rapport concluait la partie consacrée au retour d'expérience par la recommandation suivante (recommandation R2 adressée à la RATP) : « *Revoir le processus interne de retour d'expérience des accidents survenant sur les lignes de tramway exploitées, afin d'améliorer le recueil d'informations, les analyses de différents niveaux, la définition et le suivi des mesures correctives.* »

L'absence d'analyse de l'accidentalité associée au carrefour n° 38 de la ligne T7, objet de la présente enquête, suggère que les considérations rappelées ci-dessus restent pour partie toujours d'actualité.

---

24 Rapport d'enquête technique sur la collision entre une rame de tramway et une voiture survenue le 21 décembre 2013 à Saint-Denis (93). BEA-TT, juin 2017.

*En conclusion, le BEA-TT invite la RATP, pour les sections présentant sur chaque ligne les nombres de collisions les plus élevés, à procéder systématiquement, en association avec les gestionnaires de voirie concernés, à une analyse détaillée des circonstances des accidents, des freinages d'urgence et des interactions entre la plate-forme de tramway et son environnement. Cette analyse pourrait leur permettre d'identifier des actions susceptibles de réduire cette accidentalité.*

### **5.6.2 - Le suivi de l'accidentalité sur le réseau routier géré par ADP**

La société Aéroports de Paris ne recense pas les accidents survenus sur le réseau routier qu'elle gère sur la zone aéroportuaire d'Orly, car leur nombre est considéré comme faible. Toutefois, comme évoqué en partie 3.6.7, les éléments disponibles dans le fichier national de l'accidentalité routière de l'ONISR permettent d'estimer que 13 accidents corporels surviennent en moyenne chaque année sur ce réseau.

*Considérant qu'un suivi des accidents corporels par le gestionnaire routier favoriserait la détection de configurations à risque, le BEA-TT invite Aéroports de Paris à :*

*- Mettre en place un dispositif de recensement systématique des accidents corporels survenant sur le réseau routier géré sur la zone aéroportuaire d'Orly, et recueillir pour chaque accident un ensemble d'informations (localisation, circonstances, etc.) permettant d'alimenter des analyses ultérieures ;*

*- Mettre en place une démarche d'analyse de la sécurité routière consistant notamment à :*

- exploiter périodiquement ces éléments afin de mettre en évidence les zones éventuelles de concentration d'accidents et les types de circonstances les plus fréquemment rencontrées ;*
- puis réaliser un diagnostic des accidents correspondant à ces caractéristiques afin de déterminer les éventuelles actions correctives à mener.*

### **5.7 - La formation des conducteurs de véhicules de transport en commun roulant au GNC**

Les autobus et autocars motorisés au gaz naturel comprimé présentent des risques spécifiques d'incendie et d'explosion détaillés en annexe 2 du présent rapport.

Le risque le plus fréquemment rencontré résulte, en cas d'incendie du véhicule, de la vidange des réservoirs de gaz déclenchée automatiquement lorsque leur température dépasse 110 °C ou leur pression dépasse 34 MPa, ceci afin d'éviter leur éclatement. L'inflammation des gaz ainsi évacués peut générer pendant plusieurs minutes une torchère d'une longueur conséquente dirigée horizontalement ou verticalement. Une collision impactant directement les réservoirs de gaz peut également générer une explosion.

Les conducteurs de véhicules de transport en commun fonctionnant au GNC devraient par conséquent être sensibilisés à ces risques et disposer de consignes détaillées quant au comportement à adopter en cas de début d'incendie ou d'accident en circulation, notamment la recherche d'un lieu de stationnement en espace dégagé, l'actionnement du coupe-batterie, la vérification d'absence de fuite dans le circuit d'alimentation du moteur ou encore l'éloignement des passagers par rapport au véhicule impliqué. Cependant la société Les Cars d'Orsay, employeur du conducteur de l'autocar impliqué dans l'accident, ne dispense pas à ses conducteurs de formation spécifique en la matière.

Rappelons également que le constructeur de l'autocar accidenté préconise, en cas d'incendie ou d'accident, de désactiver le réseau électrique de bord au moyen du coupe-batterie. Le conducteur de l'autocar n'a pas appliqué cette consigne.

Les risques associés aux autobus fonctionnant au GNC ont déjà fait l'objet d'un rapport publié par le BEA-TT en 2006 (cf. annexe 2). Parmi les recommandations émises en conclusion de ce rapport figurait notamment la suivante, à destination de la Direction générale de la mer et des transports<sup>25</sup> (DGMT) : « *Une formation spécialisée des personnels de conduite et de maintenance devrait être recommandée aux exploitants* ». La DGMT a signalé cette recommandation aux présidents du Groupement des autorités organisatrices de transport (maintenant Groupement des autorités responsables de transport - GART) et de l'Union des Transports Publics (maintenant Union des Transports Publics et ferroviaires - UTP) en leur demandant de bien vouloir en assurer la diffusion auprès de leurs membres.

Les recherches conduites par le BEA-TT au cours de la présente enquête n'ont pas révélé l'existence de documents destinés aux conducteurs traitant de ces sujets. Ni les fabricants de véhicules, ni les distributeurs d'énergie ne semblent les avoir abordés dans leurs publications. Les ouvrages de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), qui se focalisent sur la protection des salariés, traitent en profondeur du risque d'explosion en milieu confiné (sites de maintenance et de remisage des véhicules, stations de remplissage) mais ne détaillent pas la sécurité en circulation.

Ces constats conduisent le BEA-TT à émettre la recommandation suivante :

**Recommandation R4 adressée à l'Union des Transports Publics et ferroviaires (UTP) et au Groupement des autorités responsables de transport (GART) :**

**Inciter leurs membres à apporter aux conducteurs de véhicules de transport en commun fonctionnant au gaz naturel comprimé une formation relative aux risques spécifiques associés à ce type de motorisation, et au comportement à adopter en cas d'événement ou d'accident en circulation.**

*Le BEA-TT invite également l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) à compléter la prochaine actualisation de son ouvrage « Véhicules industriels équipés au gaz naturel – Mesures de prévention contre le risque explosion » par des recommandations aux conducteurs de ces véhicules en cas d'incendie ou d'accident survenant sur la voie publique.*

---

25 La DGMT (maintenant Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer) était alors la direction compétente en matière d'organisation des services de transport.





## 6 - Conclusions et recommandations

### 6.1 - Conclusions

La cause directe de l'accident est le franchissement de l'intersection par l'autocar alors que la signalisation (feux routiers) lui imposait l'arrêt.

La non-perception des feux routiers par le conducteur de l'autocar, l'attention du conducteur du tramway portée à un véhicule venant en sens inverse de l'autocar et l'absence de freinage d'urgence de la rame ont contribué à la collision.

L'analyse des causes et du contexte de l'accident conduit le BEA-TT à rechercher des orientations préventives dans les domaines suivants :

- la sensibilisation des conducteurs des lignes de transports publics routiers ;
- l'aménagement et la signalisation de l'intersection entre la rue Marcel Albert et la plateforme du tramway (carrefour n° 38), ainsi que les principes de fonctionnement des feux de circulation ;
- la conduite anticipative chez les conducteurs de tramway ;
- le suivi de l'accidentalité par les différents gestionnaires d'infrastructures ;
- la formation des conducteurs de véhicules de transport en commun roulant au gaz naturel comprimé.

Compte tenu des modifications apportées par ADP à la signalisation du carrefour n° 38 dans le courant de l'été 2019, le BEA-TT ne formule pas de recommandation sur ce thème. Sur les autres thèmes, le BEA-TT formule quatre recommandations et sept invitations.

### 6.2 - Recommandations

**Recommandation R1 adressée à Aéroports de Paris (ADP) :**

**Étudier la faisabilité d'une synchronisation des feux de circulation des carrefours n° 38 et 39 imposant, lors du passage au rouge des feux routiers du carrefour n° 38, le passage ou le maintien au rouge des feux du carrefour n° 39 destinés aux courants de circulation se dirigeant vers le carrefour n° 38.**

**Recommandation R2 adressée à Aéroports de Paris (ADP) :**

**Réétudier les temps de dégagement de la matrice de sécurité du carrefour n° 38 en se fondant sur des hypothèses de vitesse des véhicules routiers plus représentatives et en tenant compte de la présence de véhicules longs, et modifier si nécessaire les délais inscrits dans la matrice actuelle.**

**Recommandation R3 adressée à Île-de-France Mobilités et à la RATP :**

**Pour chacun des carrefours de la ligne T7 sur lesquels la vitesse maximale autorisée pour les véhicules routiers est de 30 km/h ou moins, ou sur lesquels le trafic routier comporte un nombre significatif de véhicules longs, faire procéder par l'entité propriétaire du contrôleur de feux à une vérification de la pertinence des temps de dégagement inscrits dans la matrice de sécurité, compte tenu de ces spécificités.**

**Recommandation R4 adressée à l'Union des Transports Publics et ferroviaires (UTP) et au Groupement des autorités responsables de transport (GART) :**

**Inciter leurs membres à apporter aux conducteurs de véhicules de transport en commun fonctionnant au gaz naturel comprimé une formation relative aux risques spécifiques associés à ce type de motorisation, et au comportement à adopter en cas d'événement ou d'accident en circulation.**

## **6.3 - Invitations**

*Le BEA-TT invite également :*

### **1) la société Les Cars d'Orsay à :**

*- diffuser, suite à chaque accident impliquant l'un de ses véhicules, une information générale à l'ensemble des conducteurs de la ligne concernée leur présentant les lieux, les circonstances de l'événement et son analyse des pistes pour éviter que de tels événements ne se reproduisent ;*

*- prévoir, lors de la formation interne de reconnaissance d'une ligne dispensée à chaque nouveau conducteur, le signalement des lieux et des circonstances d'accidents antérieurement survenus aux véhicules de la ligne.*

### **2) la RATP :**

*- pour les sections présentant sur chaque ligne les nombres de collisions les plus élevés, à procéder systématiquement, en association avec les gestionnaires de voirie concernés, à une analyse détaillée des circonstances des accidents, des freinages d'urgence et des interactions entre la plate-forme de tramway et son environnement, afin d'en déduire des actions destinées à réduire cette accidentalité ;*

*- à rappeler périodiquement aux conducteurs de tramway la nécessité de conserver en permanence une attitude anticipative vis-à-vis de la possibilité que des tiers ne respectent pas la signalisation ou les règles élémentaires de prudence.*

### **3) Aéroports de Paris à :**

*- mettre en place un dispositif de recensement systématique des accidents corporels survenant sur le réseau routier géré sur la zone aéroportuaire d'Orly, et recueillir pour chaque accident un ensemble d'informations (localisation, circonstances, etc.) permettant d'alimenter des analyses ultérieures ;*

*- mettre en place une démarche d'analyse de la sécurité routière consistant notamment à :*

- exploiter périodiquement ces éléments afin de mettre en évidence les zones éventuelles de concentration d'accidents et les types de circonstances les plus fréquemment rencontrées ;*
- puis réaliser un diagnostic des accidents correspondant à ces caractéristiques afin de déterminer les éventuelles actions correctives à mener.*

**4) l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) à compléter la prochaine actualisation de son ouvrage « Véhicules industriels équipés au gaz naturel – Mesures de prévention contre le risque explosion » par des recommandations aux conducteurs de ces véhicules en cas d'incendie ou d'accident survenant sur la voie publique.**

# ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Les incendies et explosions d'autobus au GNC



## Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE CHARGÉ DES TRANSPORTS



*Le Directeur*

La Défense, le 8 mars 2019

### 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 la collision entre un tramway et un autobus, le 27 février 2019 à Paray-Vieille-Poste dans l'Essonne ;

**décide**

**Article 1** : Une enquête technique est ouverte en application des articles L. 1621-1 et R. 1621-22 du code des transports concernant la collision entre un tramway de la ligne T7 et un autobus de la ligne 91.10, le 27 février 2019 à Paray-Vieille-Poste (91).

Jean PANHALEUX

## Annexe 2 : Le risque d'incendie et d'explosion pour les autobus et autocars motorisés au GNC

### *Le gaz naturel comprimé*

Le gaz naturel comprimé (GNC) est composé quasi exclusivement de méthane et d'un additif odorisant. La densité du méthane est de l'ordre de 0,6, il est donc approximativement deux fois plus léger que l'air et s'élève en cas de fuite [INRS, 2011]<sup>26</sup>.

Aux températures ambiantes usuelles et à la pression atmosphérique, le méthane en mélange dans l'air est inflammable si sa concentration en volume est entre 5 et 15 %. Toutefois ce domaine est plus étendu aux pressions et aux températures élevées [INRS, 2004].

### *Le règlement R110*

Les exigences techniques relatives aux véhicules fonctionnant au GNC sont définies par le règlement R110<sup>27</sup> publié par la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies.

Pour les autobus et autocars, le règlement stipule que les réservoirs de gaz sont conçus pour une pression maximale de fonctionnement de 20 MPa (200 bars). Chaque réservoir doit être équipé d'au moins un dispositif de vidange, appelé « dispositif de surpression », qui se déclenche automatiquement afin d'éviter une explosion du réservoir lorsque la température ou la pression deviennent anormalement élevées ; le dispositif de surpression peut être à déclenchement thermique ou manométrique. En outre, le circuit d'alimentation en gaz du véhicule doit être équipé d'au moins un dispositif de surpression à déclenchement thermique.

Un dispositif de surpression à déclenchement thermique, également appelé « thermofusible », doit être conçu de manière à provoquer l'ouverture du fusible à une température de  $110\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ . Un dispositif de surpression à déclenchement manométrique équipant un autobus ou un autocar doit s'ouvrir lorsqu'il est soumis à une pression de  $34\text{ MPa} \pm 10\%$ .

Les réservoirs sont soumis à de nombreux essais, dont :

- un essai hydrostatique à 1,5 fois la pression maximale de fonctionnement ;
- un essai de choc consistant à lâcher le contenant d'une hauteur de 1,80 m au-dessus d'un sol plan en béton, ce qui équivaut à une collision contre un obstacle rigide à une vitesse de 21 km/h ;
- un essai au feu à l'air libre : le réservoir, rempli à la pression maximale de fonctionnement, est soumis à une flamme normalisée ; il doit se vider entièrement par un dispositif de surpression, sans éclater ; aucune condition de durée n'est fixée pour la vidange.

Un amendement du règlement R110 adopté en 2016 et d'application obligatoire aux véhicules homologués à compter du 1<sup>er</sup> septembre 2021 impose que lorsque les réservoirs sont montés à l'extérieur, sur le toit ou la partie supérieure de la carrosserie du

---

26 Les mentions entre crochets renvoient aux références bibliographiques listées à la fin de cette annexe.

27 Prescriptions uniformes relatives à l'homologation : I. Des organes spéciaux pour l'alimentation du moteur au gaz naturel comprimé (GNC) et/ou au gaz naturel liquéfié (GNL) sur les véhicules ; II. Des véhicules munis d'organes spéciaux d'un type homologué pour l'alimentation du moteur au gaz naturel comprimé (GNC) et/ou au gaz naturel liquéfié (GNL) en ce qui concerne l'installation de ces organes.

véhicule, le dispositif de surpression doit être fixé sur le ou les réservoirs de carburant de manière telle que l'évacuation du GNC ne puisse se faire que verticalement vers le haut.

### **Les incendies et explosions d'autobus au GNC**

Une fuite de gaz de très faible débit ne peut *a priori* conduire à une explosion que si elle se produit en milieu confiné, par exemple en atelier ou en parking fermé.

S'agissant des autobus en circulation, un incendie prend le plus souvent naissance dans le moteur. Il se propage ensuite dans le véhicule et atteint les réservoirs de GNC en toiture. Du fait de la montée en température, les dispositifs de surpression équipant chaque réservoir se déclenchent et évacuent le gaz qui peut s'enflammer au contact des fumées chaudes issues de l'incendie. La torchère ainsi créée peut atteindre une longueur conséquente.

Lors de l'incendie d'un autobus au GNC survenu aux Pays-Bas en 2012 (figure 42), une torchère s'est créée, dirigée horizontalement sur le côté du véhicule. Le rapport d'enquête du Dutch Safety Board [DSB, 2013] estime sa longueur maximale entre 15 et 20 m et précise qu'elle a brûlé pendant environ quatre minutes. L'incendie d'un autobus au GNC à Bordeaux en janvier 2019 (figure 43) a généré pendant plusieurs minutes l'émission d'une torchère verticale d'une quinzaine de mètres de hauteur. En mai 2019, l'incendie d'un autobus au GNC à Malmö s'est accompagné de la création de plusieurs torchères, certaines horizontales et d'autres verticales [CTIF, 2019a]. Comme exposé plus haut, l'évacuation du gaz devrait obligatoirement se faire verticalement pour tous les réservoirs situés en toiture des véhicules homologués à compter du 1<sup>er</sup> septembre 2021.



**Figure 42 : Incendie d'un autobus au GNC à Wassenaar (Pays-Bas) en 2012**  
(source [DSB, 2013])



**Figure 43 : Incendie d'un autobus au GNC à Bordeaux le 7 janvier 2019**

L'explosion d'un réservoir peut parfois intervenir malgré la présence du dispositif de surpression. Plusieurs situations ont été identifiées [Perrette et Wiedemann, 2007] :

- 1) Le dispositif est défectueux, il ne se déclenche pas. L'incendie dégrade alors le matériau constituant la paroi du réservoir et simultanément l'élévation en température fait augmenter la pression du gaz dans la bouteille, jusqu'à atteindre sa limite de résistance.
- 2) L'élévation en température est localisée sur une partie seulement de la bouteille, éloignée du dispositif thermofusible. Celui-ci ne monte pas suffisamment en température pour se déclencher, alors que la pression augmente à l'intérieur de la bouteille et que sa résistance se dégrade. Une telle situation s'est rencontrée par exemple lorsqu'un incendie se propageant dans le compartiment voyageurs d'un autobus est remonté en toiture via une trappe située devant les réservoirs de gaz.
- 3) Le dispositif remplit son rôle mais a été conçu pour vidanger lentement le réservoir afin de limiter les risques de dégagement de gaz combustible en cas de stationnement de véhicule dans un milieu confiné [BEA-TT, 2006]. Cette vidange lente correspondrait à une exigence de la réglementation française en vigueur avant 2000, elle ne devrait plus être conforme aux spécifications du règlement R110.

Pour pallier ces dysfonctionnements, certains acteurs ont proposé d'imposer que chaque réservoir soit systématiquement équipé de deux dispositifs de surpression, mais ce principe n'a pas été repris à ce jour dans le règlement R110.

À relever enfin une dernière situation où l'explosion ne serait pas consécutive à un incendie initial mais à une collision ayant endommagé le réservoir. Ceci est arrivé à Stockholm en mars 2019 lorsqu'un autobus, équipé en toiture de cinq bouteilles de GNC implantées longitudinalement, a heurté un portique de gabarit protégeant l'entrée d'un tunnel [CTIF, 2019b] [RISE, 2019]. Lors de la collision, un orifice a été créé dans l'un des réservoirs de gaz. Son extrémité avant a été poussée vers le bas, elle a pénétré dans le toit du véhicule et le gaz s'est expulsé à l'intérieur du compartiment voyageurs. Sous l'effet d'une source de chaleur non identifiée le gaz a alors explosé (figure 44), le réservoir a été projeté sur la façade du bâtiment surplombant l'entrée du tunnel, à une hauteur de 13 m. Un morceau du capotage protégeant les réservoirs a été retrouvé sur le toit du bâtiment à 30 m de hauteur. Les quatre autres réservoirs restés sur le toit de l'autobus n'ont pas été éventrés, ils se sont ensuite vidangés via leurs thermofusibles et ont contribué à l'incendie (figure 45). Le conducteur, seul occupant de l'autobus, a été blessé.





**Figure 44 : Explosion d'un autobus au GNC à Stockholm (Suède) en mars 2019**  
(source [CTIF, 2019b])



**Figure 45 : Incendie de l'autobus consécutif à l'explosion à Stockholm**  
(source [CTIF, 2019b])

### **Le rapport du BEA-TT de 2006**

Suite à deux événements survenus en 2005, le BEA-TT a conduit une enquête sur les incendies d'autobus fonctionnant au gaz naturel pour véhicules<sup>28</sup> (GNV). L'enquête a permis de connaître d'autres incendies ou départs de feu survenus sur de tels matériels en France et à l'étranger et d'en tirer des enseignements de prévention. Le rapport [BEA-TT, 2006] comporte un ensemble de recommandations relatives notamment à la réglementation technique de ces véhicules. Il comporte également deux recommandations relatives à leurs modalités d'utilisation :

- à destination de la Direction générale de la mer et des transports (DGMT): « Une formation spécialisée des personnels de conduite et de maintenance devrait être recommandée aux exploitants » ;
- à destination de la Direction de la sécurité et de la circulation routières (DSCR) : « L'usage des autobus au GNV dans des tunnels interdits au transit des transports de matières dangereuses devrait être exclu ».

<sup>28</sup> Le gaz naturel pour véhicules (GNV) englobe le gaz naturel comprimé (GNC) et le gaz naturel liquéfié (GNL), stocké à très basse température.

La DGMT a adressé le 13 juin 2006 un courrier aux présidents du Groupement des autorités organisatrices de transport (maintenant Groupement des autorités responsables de transport - GART) et de l'Union des Transports Publics (maintenant Union des Transports Publics et ferroviaires - UTP) leur signalant plusieurs recommandations du rapport, dont celle relative à la formation des personnels, et leur demandant de bien vouloir en assurer la diffusion auprès de leurs membres. Le BEA-TT n'a pas connaissance des suites données par ces deux organismes en la matière.

La DSCR a détaillé dans un courrier daté du 31 juillet 2006 ses propositions relatives aux recommandations du rapport du BEA-TT. S'agissant de la circulation des autobus au GNV dans les tunnels, elle a indiqué attendre les résultats d'une étude d'impact d'une éventuelle interdiction avant de prendre une mesure réglementaire. Le BEA-TT n'a pas connaissance des conclusions de cette étude d'impact ni des suites données par la DSCR sur ce sujet.

### **La prévention et la formation des conducteurs**

De nombreux ouvrages techniques, publiés tant par des groupements professionnels que par des organismes publics (par exemple [INRS, 2011]), traitent du risque professionnel associé aux véhicules de transport en commun fonctionnant au gaz naturel. Ils se focalisent essentiellement sur le risque d'explosion en milieux confinés tels que les sites de maintenance et de remisage des véhicules, ainsi que dans les stations de remplissage. Une réglementation rend obligatoire la mise en place de mesures techniques et organisationnelles destinées à prévenir le risque d'explosion en milieu professionnel, et toute intervention sur le circuit de gaz des véhicules doit impérativement être réalisée par du personnel qualifié ayant suivi une formation adaptée ; trois niveaux de qualification sont définis, en fonction du domaine d'intervention autorisé.

En revanche il ne semble exister aucun document, destiné aux conducteurs de véhicules de transport en commun motorisés au GNC, qui leur présenterait les risques associés aux spécificités de ce type de véhicule et qui leur détaillerait le comportement à adopter en cas d'événement ou d'accident en circulation. Aucune formation spécifique n'est requise en la matière pour les conducteurs affectés à ce type de véhicules.

### **La circulation des autobus au GNV dans les tunnels**

La réglementation relative au transport de matières dangereuses repose sur l'arrêté du 29 mai 2009 qui renvoie, pour le transport routier, à l'accord européen relatif au transport international de matières dangereuses par route, dit « ADR ». L'ADR définit une classification des tunnels en cinq catégories notées de A à E, la catégorie A n'ayant aucune restriction d'accès et la catégorie E étant interdite à toutes les matières dangereuses excepté quelques produits<sup>29</sup>. Selon la réglementation, l'accès des véhicules transportant du gaz naturel comprimé est interdit :

- aux tunnels de catégorie B ou supérieure, lorsque le produit est transporté en citerne ;
- aux tunnels de catégorie D ou supérieure, dans le cas contraire.

Toutefois les prescriptions de la réglementation relative au transport de matières dangereuses « *ne s'appliquent pas au transport des gaz contenus dans les réservoirs ou bouteilles de combustible d'un véhicule effectuant une opération de transport et qui sont destinés à sa propulsion ou au fonctionnement d'un de ses équipements (frigorifiques par exemple) utilisé ou destiné à une utilisation durant le transport* » (article 1.1.3.2 de l'ADR). Elles ne restreignent donc pas la circulation des véhicules motorisés au GNV.

---

<sup>29</sup> En pratique, sur le réseau routier français, très peu de tunnels sont classés dans les catégories intermédiaires B, C et D.

Suite au rapport publié par le BEA-TT en 2006, la Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers (CNESOR) a examiné les problématiques particulières liées aux véhicules fonctionnant au GNV [CNESOR, 2013]. « Elle a retenu que les risques de phénomènes tels qu'un feu torche ou une VCE (Vapour Cloud Explosion) peuvent représenter une menace importante pour l'intervention des secours et pour l'infrastructure ; elle a considéré qu'il est primordial de savoir exactement ce qui se passe dans un tunnel lorsqu'un bus GNV est impliqué dans un incendie, ce que ne permettent pas de faire les connaissances actuelles. La commission a conclu qu'il n'était pas possible, en l'état actuel des connaissances, de revenir sur la recommandation (...) qui prévoit d'exclure le passage des autobus au GNV dans les tunnels interdits au transit des transports de marchandises dangereuses (catégorie E de l'ADR). »

Conformément à cette recommandation, certains tunnels interdits aux transports de matières dangereuses comme, par exemple, la traversée de Toulon (autoroute A50), sont également interdits aux véhicules fonctionnant au GNV.

Selon les informations communiquées au BEA-TT, le Centre d'étude des tunnels (CETU) exploite actuellement les résultats d'une étude menée conjointement avec l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) [Willmann et Truchot, 2019], visant à mieux appréhender les risques associés à la circulation dans les tunnels des véhicules à nouvelles motorisations, notamment le GNV. Le CETU participe sur ce sujet à des groupes de travail avec les parties prenantes.

## Références

- [BEA-TT, 2006] Rapport d'enquête technique sur les incendies d'autobus fonctionnant au GNV notamment les incendies survenus en août 2005 à Montbéliard et à Nancy. BEA-TT, mars 2006.
- [CNESOR, 2013] Bilan et principaux enseignements des dossiers examinés sur la période 2009-2012. Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers, 2013.
- [CTIF, 2019a] <https://www.ctif.org/news/how-safe-are-bio-gas-vehicles-firefighters-new-incident-involving-cng-bus>
- [CTIF, 2019b] <https://www.ctif.org/news/cause-stockholm-cng-bus-explosion-has-now-been-determined>
- [DSB, 2013] Fire in a CNG bus. Dutch Safety Board, septembre 2013.
- [INRS, 2004] Les mélanges explosifs – Gaz et vapeurs. Institut National de Recherche et de Sécurité, 2004.
- [INRS, 2011] Véhicules industriels équipés au gaz naturel – Mesures de prévention contre le risque explosion. Institut National de Recherche et de Sécurité, 2011.
- [Perrette et Wiedemann, 2007] Lionel Perrette, Helmut K. Wiedemann. CNG buses fire safety : learnings from recent accidents in France and Germany. Society of automotive engineer world Congress 2007, Apr 2007, Detroit, United States.
- [RISE, 2019] Utredning av händelse Klaratunneln 2019-03-10. RISE Research Institutes of Sweden AB, avril 2019.
- [Willmann et Truchot, 2019] Christophe Willmann, Benjamin Truchot. User's safety in tunnels - Additional risks of new energy carriers vehicles. International Symposium on Aerodynamics, Ventilation and Fire in Tunnels, septembre 2019, Athènes, Grèce.



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



**Grande Arche - Paroi Sud**  
**92055 La Défense cedex**

Téléphone : 01 40 81 21 83

Télécopie : 01 40 81 21 50

[bea-tt@developpement-durable.gouv.fr](mailto:bea-tt@developpement-durable.gouv.fr)

[www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr](http://www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr)

