

A large, decorative graphic consisting of several concentric, overlapping circles in shades of light purple and lavender, centered on the page. The circles are of varying thicknesses and are partially cut off by the edges of the page.

**RAPPORT
D'ENQUÊTE TECHNIQUE
sur la collision par rattrapage
entre deux tramways
survenue le 11 février 2019
à Issy-les-Moulineaux (92)**

Février 2021

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

Affaire n° BEATT-2019-01

**Rapport d'enquête technique
sur la collision par rattrapage entre deux tramways
survenue le 11 février 2019
à Issy-les-Moulineaux (92)**

Bordereau documentaire

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur le rattrapage entre deux tramways provoquant leur déraillement survenu le 11 février 2019 à Issy-les-Moulineaux (92)

N° ISRN : EQ-BEAT--21-1--FR

Proposition de mots-clés : tramway, rattrapage, 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

GLOSSAIRE.....	11
RÉSUMÉ.....	13
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	15
1.1 - Les circonstances de l'évènement.....	15
1.2 - Le bilan humain et matériel.....	15
1.3 - Les mesures prises après l'évènement.....	17
1.4 - L'engagement et l'organisation de l'enquête.....	17
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	19
2.1 - Le réseau de tramway T2 et localisation de l'accident.....	19
2.2 - Les caractéristiques techniques générales du tramway T2.....	20
2.2.1 - Le matériel roulant.....	20
2.2.2 - Le site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux.....	21
2.2.3 - La voie.....	22
2.2.4 - La signalisation ferroviaire.....	23
2.2.5 - L'énergie électrique.....	24
2.3 - L'exploitation de la ligne T2.....	25
2.3.1 - La conduite des tramways.....	25
2.3.2 - La régulation du trafic des tramways.....	26
2.3.3 - La mesure de la performance de la ligne T2.....	27
2.4 - La maintenance de la ligne T2.....	28
2.4.1 - La maintenance de la voie et des installations fixes.....	28
2.4.2 - La maintenance des matériels roulants.....	28
2.4.3 - Les accès au site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux.....	28
3 - COMPTE RENDU DES CONSTATS IMMÉDIATS.....	31
3.1 - Emplacement des différentes rames au moment de l'accident.....	31
3.2 - Résumés des déclarations.....	31
3.2.1 - Le conducteur du tramway tamponneur – « service 63 ».....	31
3.2.2 - Le conducteur du tramway percuté – « service 17 ».....	32
3.2.3 - Le conducteur du tramway croiseur – « service 28 ».....	33
3.2.4 - Le conducteur du tramway suiveur – « service 14 ».....	33
3.2.5 - Le régulateur « chef de poste » au PCL.....	34
3.2.6 - Le régulateur « interface » au PCL.....	35
3.2.7 - L'agent présent sur le site de maintenance et de remisage.....	35
3.2.8 - L'agent d'intervention en voiture de régulation.....	36
3.3 - Retranscription de la vidéosurveillance embarquée dans les rames.....	36
3.4 - Les constats sur les tramways.....	37
3.5 - Les constats sur l'infrastructure.....	40
3.6 - Les données des enregistreurs de paramètres.....	40
3.6.1 - Les données de la rame tamponneuse.....	40
3.6.2 - Les données de la rame percutée.....	42
3.7 - L'appel général du PCL.....	42

3.8 - L'évacuation des passagers.....	43
3.9 - La coupure d'urgence de l'alimentation électrique.....	43
3.10 - Éclaircissements sur l'utilisation du téléphone portable.....	43
3.10.1 - Le relevé des appels du téléphone portable du conducteur du « service 63 ».....	43
3.10.2 - Les consignes aux conducteurs de la RATP concernant l'usage du téléphone portable.....	43
3.10.3 - Les audits du service de contrôle de l'État sur l'exploitation du tramway T2.....	44
3.11 - Conclusion sur les constats immédiats.....	45
4 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	47
4.1 - L'accumulation des tramways dans le secteur de la station Les Moulineaux.....	47
4.1.1 - Le temps nécessaire pour effectuer le remisage d'un tramway sur le SMR par l'entrée Ouest.....	47
4.1.2 - L'accumulation des tramways dans l'interstation Jacques-Henri Lartigue / Les Moulineaux le soir du 11 février 2019.....	48
4.1.3 - Le renfort de l'offre T2 et les entrées au SMR.....	49
4.2 - La mise en alerte des conducteurs par la régulation.....	52
4.2.1 - La disponibilité de la radio sol-train.....	52
4.2.2 - Le collationnement des messages d'alerte.....	54
4.3 - La situation en aval du tramway tamponneur et le délai de réaction de son conducteur.....	55
4.3.1 - La localisation du tramway « service 28 » circulant en sens inverse.....	55
4.3.2 - La localisation du tramway « service 17 ».....	56
4.3.3 - La distance de visibilité du tramway tamponneur « service 63 ».....	58
4.3.4 - La distance de freinage du tramway tamponneur.....	61
4.4 - Le retour d'expérience sur ce type d'événement.....	68
4.4.1 - L'accidentologie sur le T2 et sur la zone de la collision.....	68
4.4.2 - L'accidentologie par rattrapage sur l'ensemble du réseau parisien RATP.....	68
4.4.3 - L'accidentologie par rattrapage en France.....	69
4.5 - La vigilance du conducteur.....	70
4.5.1 - La visibilité sur l'information de la vitesse du tramway.....	70
4.5.2 - La vigilance, l'attention et les facteurs cognitifs en situation de conduite.....	72
4.6 - Les facteurs organisationnels et humains.....	74
5 - RESTITUTION DU DÉROULEMENT DE L'ÉVÈNEMENT.....	79
6 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....	81
6.1 - L'arbre des causes.....	81
6.2 - Les causes de l'évènement.....	81
6.3 - L'organisation de l'exploitation de la ligne T2 et les procédures associées.....	82
6.3.1 - L'inter-distance des rames lors des entrées au SMR Ouest.....	82
6.3.2 - L'accès au site de maintenance et de remisage.....	83
6.3.3 - La relève à Les Moulineaux.....	83
6.3.4 - La règle d'arrêt au S207.....	83
6.3.5 - Le collationnement.....	84
6.4 - L'analyse d'impact du renfort de l'offre sur T2.....	85
6.5 - Les modalités de retour d'expérience sur les évènements de conduite par la RATP.....	86
6.5.1 - Les enregistrements radio.....	86
6.5.2 - La tâche principale de conduite et les tâches secondaires.....	87
6.5.3 - L'anticipation des événements rares par les signaux faibles.....	87

6.6 - La fiabilité de la radio sol-train.....	88
7 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	89
7.1 - Conclusions.....	89
7.2 - Recommandations.....	90
ANNEXES.....	93
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	94
Annexe 2 : Parcours en cabine de Jacques-Henri Lartigue jusqu'au lieu de la collision.....	95

Glossaire

- **CNSR** : Conseil National de la Sécurité Routière
- **DRIEA** : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement
- **DSTG** : Département de la Sécurité des Transports Guidés
- **IHM** : Interface Homme-Machine
- **FU** : Freinage d'Urgence
- **IdFM** : Île-de-France Mobilités
- **LAC** : Ligne Aérienne de Contact
- **MAE** : Machiniste Assistant Encadrant
- **PCL** : Poste de Commandement Ligne
- **RATP** : Régie Autonome des Transports Parisiens
- **RSE** : Règlement de Sécurité de l'Exploitation
- **RST** : Radio Sol-Train
- **SAE** : Système d'Aide à l'Exploitation
- **SIEL** : Système d'Information En Ligne
- **SMR** : Site de Maintenance et de Remisage
- **STRMTG** : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
- **STIF** : Syndicat des Transports d'Île-de-France, devenu IdFM
- **TIV** : Tableau Indicateur Vitesse

Résumé

Le lundi 11 février 2019 à 21 h 01, sur la ligne de tramway T2 du réseau parisien, un tramway en circulation commerciale percute par l'arrière un autre tramway arrêté en ligne. La collision a lieu au niveau du site de maintenance et de remisage des tramways à Issy-les-Moulineaux, entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

La collision fait 12 blessés dont un grave. Les deux tramways ont partiellement déraillé. Le tramway qui a heurté est venu pénétrer sur l'emprise de la voirie routière adjacente. Les dégâts matériels, notamment sur les deux tramways, sont importants.

La cause de cette collision par rattrapage est le freinage tardif du conducteur du tramway tamponneur, dans un moment d'attention tournée vers d'autres tâches et alors qu'une accumulation de rames se produisait devant lui.

L'enquête a révélé que divers facteurs techniques, organisationnels et humains ont contribué à cette situation :

- la mobilisation de l'attention du conducteur du tramway tamponneur lors de la conduite sur des tâches secondaires en concurrence avec son attention portée à la voie devant lui ;
- la localisation de la position d'arrêt de la rame percutée, à distance d'un feu ferroviaire ;
- l'accumulation de plusieurs rames dans la zone en raison du stationnement d'une rame en station en attente de relève de conducteur, du retour des tramways au site de maintenance et de remisage par l'entrée Ouest, dite entrée exceptionnelle, et de la fréquence élevée des rames sur la ligne ;
- le possible dysfonctionnement fugitif de la radio sol-train du tramway tamponneur ayant entraîné la non-réception des messages oraux d'alerte émis par la régulation ;
- la non-vérification par la régulation du collationnement des messages d'alerte.

Le BEA-TT émet **4 recommandations** et **2 invitations** dans les domaines suivants :

- l'organisation de l'exploitation de la ligne T2 et les procédures associées ;
- l'analyse de l'impact sur la sécurité du renfort de l'offre ;
- les méthodes de retour d'expérience sur les événements de conduite, en intégrant les facteurs organisationnels et humains ;
- la fiabilité de la radio sol-train.

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Les circonstances de l'évènement

Deux tramways avec des voyageurs à leur bord entrent en collision le 11 février 2019 à Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine). L'accident se produit à 21 h 01 sur la ligne de tramway T2 du réseau parisien, entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux. Chacun des tramways circulait en unité double (deux rames couplées).

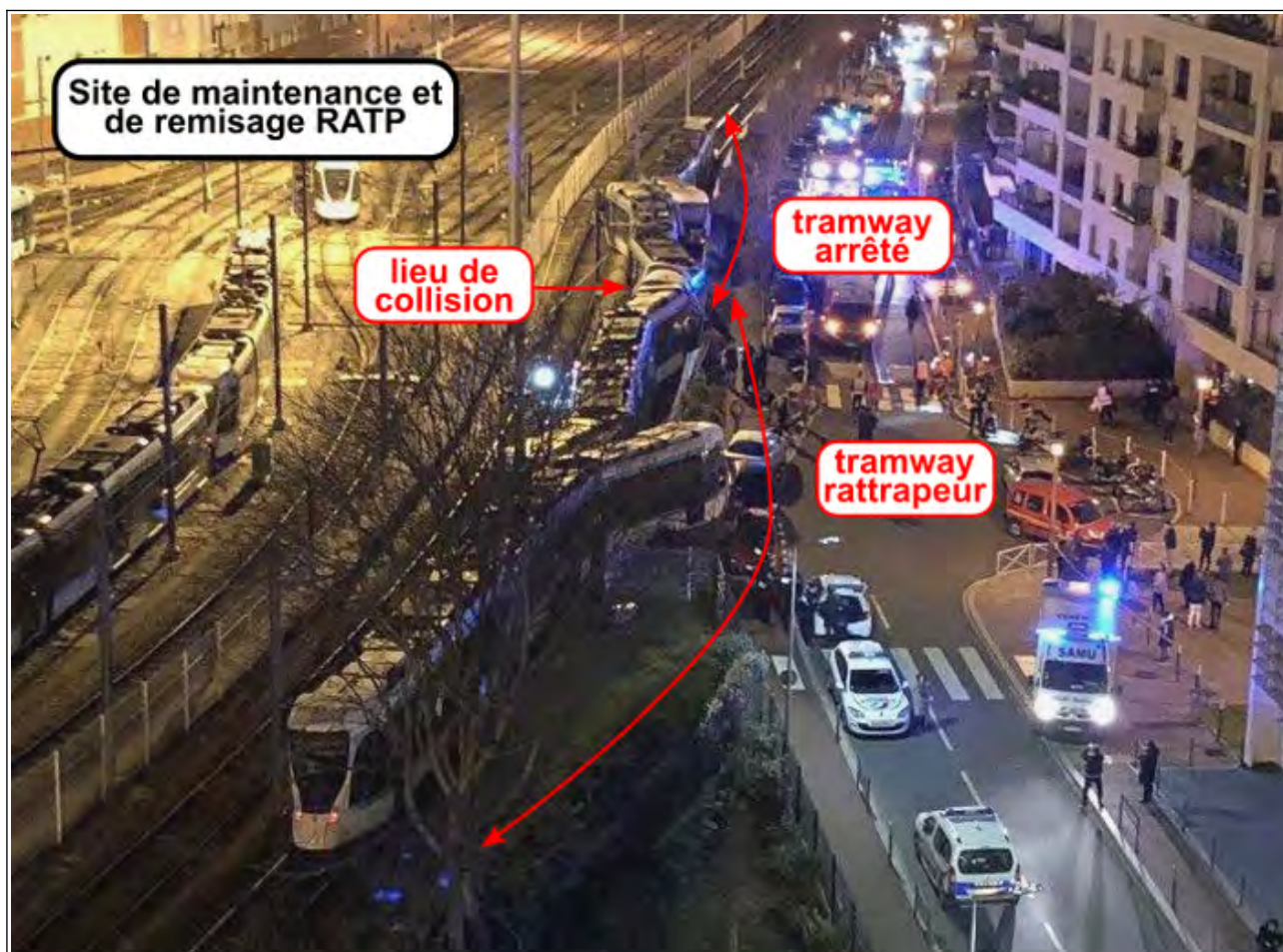


Figure 1 : situation peu après la collision

Au moment de l'accident, il fait nuit, l'éclairage public fonctionne et il ne pleut pas.

1.2 - Le bilan humain et matériel

La collision fait 12 blessés¹, dont un grave.

Les deux tramways impliqués dans cette collision présentent des dommages matériels importants. Un poteau de la ligne aérienne est endommagé, la voie a localement subi un déplacement latéral et une traverse est détériorée. Des barrières anti-intrusion blanches sont cassées et un véhicule particulier stationné sans occupant a été percuté par une des rames.

¹ Effectif recensé par la police et faisant l'objet d'une incapacité temporaire totale de travail.



Figure 2 : rames accidentées peu après la collision

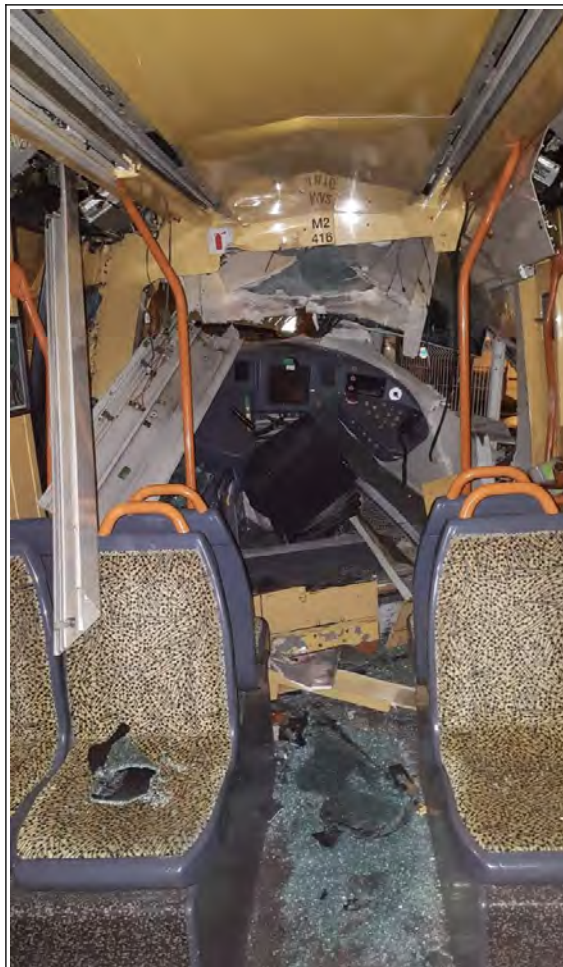


Figure 3 : cabine de conduite de l'avant du tramway tamponneur (cabine M2 de la rame 416)

1.3 - Les mesures prises après l'évènement

À la suite de l'accident, le trafic est interrompu sur l'ensemble de la ligne jusqu'à la fin de journée du 11 février 2019, puis entre Parc de Saint-Cloud et Issy-Val de Seine toute la journée du 12 février. Le 13 février en fin de matinée, l'exploitation complète reprend après que l'exploitant a dégagé les tramways endommagés et réparé les infrastructures.

Suite à l'accident, des actions immédiates sont prises par l'exploitant dont :

- à titre conservatoire, la suspension d'habilitation du conducteur du tramway tamponneur.
- un rappel des principes de la « marche à vue », de « collationnement » et de « distance de sécurité entre deux rames » est inscrit à l'ordre du jour des sessions de formation continue de l'année 2019 pour les conducteurs de tramway de la ligne T2.
- une nouvelle organisation des rentrées au site de maintenance et de remisage (SMR) est mise en place. Sur la période de pointe, les rentrées au SMR se font désormais par l'accès Est, les rentrées par l'Ouest restant autorisées pour les autres périodes de la journée.

1.4 - L'engagement et l'organisation de l'enquête

Au vu des circonstances et du contexte de l'accident, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 12 février 2019 une enquête technique en application des articles L. 1621-1 à L. 1621-22 et des articles R.1621-1 à 1621-26 du Code des transports relatifs, notamment, aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Les enquêteurs techniques du BEA-TT se sont rendus sur place. Ils ont rencontré les représentants de l'exploitant RATP, ainsi que les agents opérationnels en service le jour de l'accident. Ils ont rencontré l'autorité organisatrice de la mobilité, Île-de-France Mobilités. Ils ont enfin rencontré les agents des services de l'État en charge du contrôle de l'exploitation. Ils ont eu accès au dossier d'enquête de flagrance menée par le parquet de Nanterre. Ils ont eu communication de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à l'enquête technique.

2 - Contexte de l'accident

2.1 - Le réseau de tramway T2 et localisation de l'accident

La ligne T2 du tramway d'Île-de-France est exploitée par la Régie autonome des transports parisiens (RATP). Elle a été mise en service le 2 juillet 1997 entre La Défense et Issy-Val de Seine. Le 21 novembre 2009, la ligne est prolongée au sud d'Issy-Val de Seine jusqu'à la Porte de Versailles. Elle est de nouveau étendue au nord le 19 novembre 2012, de La Défense - Grande Arche à Pont de Bezons. Au total, la ligne mesure 17,8 kilomètres et compte 24 stations.



Figure 4 : plan de la ligne de tramway T2 et localisation de l'accident

Depuis le 5 septembre 2005, les tramways sont composés en permanence de deux rames couplées en unité double afin d'augmenter la capacité de transport de la ligne. Depuis décembre 2016, la fréquence de circulation est d'un tramway toutes les 3 minutes 30 secondes aux heures de pointe et toutes les 8 à 15 minutes aux heures creuses.

La RATP est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) de l'État assurant l'exploitation d'une partie des transports en commun de Paris et de sa banlieue. Elle exploite les 16 lignes du métro de Paris, 8 des 10 lignes du tramway d'Île-de-France, une partie des lignes de bus d'Île-de-France et une partie des lignes A et B du réseau express régional d'Île-de-France (RER). En région parisienne, elle transporte plus de 3,3 milliards de passagers par an (données 2016). La RATP remplit sa mission de transport public dans le cadre de contrats d'exploitation pluriannuels passés avec Île de France Mobilités (IdFM), l'autorité organisatrice de la mobilité de la région Île de France. Le contrat entre IdFM et la RATP, en cours au moment de l'accident portait sur la période 2016 – 2020.

La RATP est responsable de l'exploitation de la ligne de tramway T2, de la maintenance du matériel roulant de cette ligne ainsi que de la maintenance des équipements et des infrastructures ferroviaires de la ligne. La maintenance de la signalisation lumineuse trafic dédiée aux tramways est assurée par les gestionnaires de voirie.

2.2 - Les caractéristiques techniques générales du tramway T2

2.2.1 - Le matériel roulant

Les tramways en exploitation sur la ligne T2 sont de la gamme Citadis 302, construits par Alstom. Chaque rame, constituée de 5 éléments, mesure 33 mètres. D'une masse à vide de 39,4 tonnes, elles sont à plancher bas intégral.

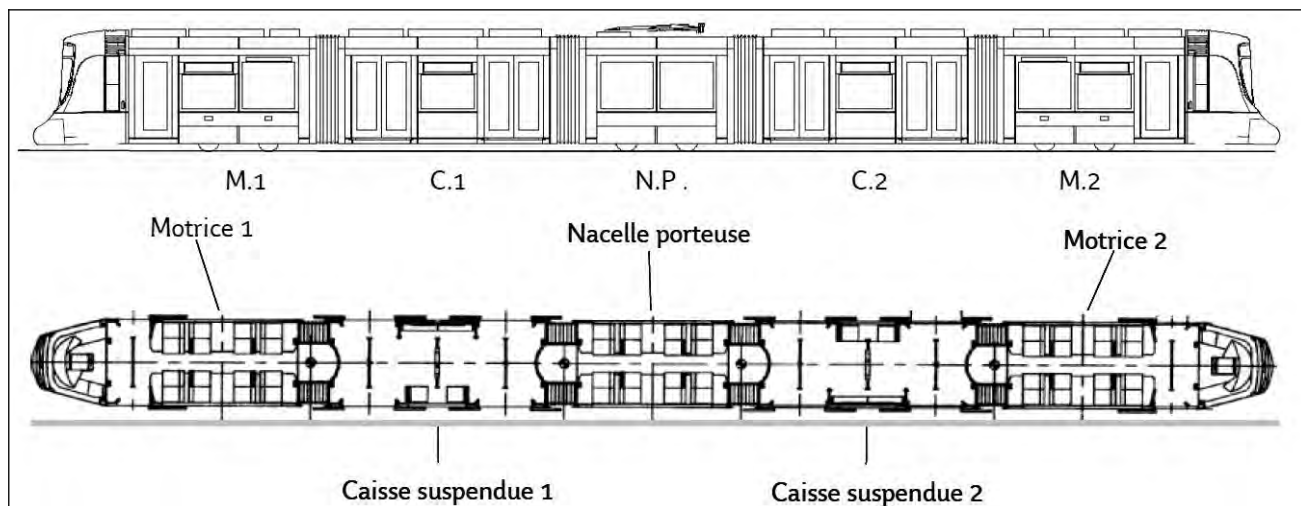


Figure 5 : schéma d'une rame de tramway Citadis 302 en circulation sur la ligne T2

Un dispositif d'attelage automatique est situé à chaque extrémité des rames. Il permet entre autres de réaliser un accouplement et découplement automatique, électrique et mécanique, entre deux rames de façon à réaliser un tramway en unité double. L'attelage permet de transmettre entre les deux rames de nombreuses fonctions dont toutes les fonctions de sécurité, telles que le freinage d'urgence.



Figure 6 : attelage entre deux rames Citadis 302

Les tramways de T2 sont équipés des différents modes de freinage suivants² :

- le **freinage normal de service** est le freinage pouvant être dosé par le conducteur via le manipulateur, d'une capacité de décélération comprise entre 0 (début du freinage) et 1,5 m/s² (freinage maximal de service) ;

² Ces valeurs sont issues du rapport de validation des performances en freinage de véhicules TGA302 d'Alstom établi le 10 avril 2003. Les rames ayant été mises en circulation avant la publication de la norme NF EN 13452 relative aux systèmes de freinage des transports publics urbains et suburbains (publiée en décembre 2003), nous nous appuyons sur le rapport cité précédemment, qui indique notamment une décélération établie moyenne contractuelle du FU d'au moins 3 m/s².

- le **freinage d'urgence** (FU) est le frein maximal possible, commandé par le manipulateur et permettant d'arrêter au plus vite le tramway, d'une décélération moyenne de 3 m/s² ;
- le **freinage dit « de sécurité »** présente une capacité de décélération de 1 m/s² et est commandé par un bouton "coup de poing" ;
- le **freinage d'immobilisation** en ligne retient le tramway dans la plus forte rampe de la ligne T2, soit 5,5 %, chargé avec 6 personnes au m², pendant une heure au moins ;
- le **freinage de stationnement** retient le tramway vide dans une pente de 5,5 %, de façon illimitée en durée.

Les rames sont équipées en cabine de conduite d'une interface homme-machine (IHM), sous forme d'une console à écran tactile. L'IHM fournit à l'agent de conduite des informations liées à l'exploitation et des informations nécessaires à la mission de conduite.

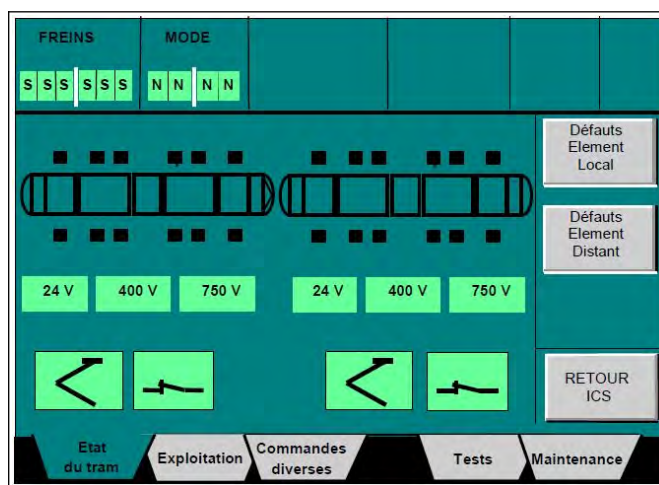


Figure 7 : écran d'interface homme-machine

2.2.2 - Le site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux

La maintenance et le remisage du matériel roulant de T2 sont assurés par deux sites : celui de La Marine, à Colombes (situé vers la station Parc Pierre Lagravère), et le site historique de l'atelier-dépôt d'Issy-les-Moulineaux.

Sur le site de maintenance et de remisage (SMR) d'Issy-les-Moulineaux, les entrées et les sorties des rames s'effectuaient initialement par l'Est et les sorties par l'Ouest. Depuis 2015, les entrées s'effectuent également par l'Ouest.



Figure 8 : site de maintenance et de remisage (SMR) d'Issy-les-Moulineaux

2.2.3 - La voie

La ligne T2 présente deux profils de voie et d'insertion urbaine :

- une partie historique, sur le tracé d'une ancienne voie ferroviaire. Elle est en ballast et a peu d'interaction avec le milieu urbain. Cette partie est située entre les stations Suzanne Lenglen et Faubourg de l'Arche ;
- une partie urbaine, plus intégrée dans le tissu urbain, aux deux extrémités de la ligne.



Figure 9 : partie historique, à la station Les Coteaux



Figure 10 : partie urbaine, aménagements à proximité de la station Charlebourg

La zone concernée par l'accident est située dans la partie historique, à proximité du site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux. Elle est en ballast. La voie est protégée des deux côtés par des barrières hautes, sans traversée piétonne ni routière. La voie est légèrement en courbe peu après la station Jacques-Henri Lartigue.

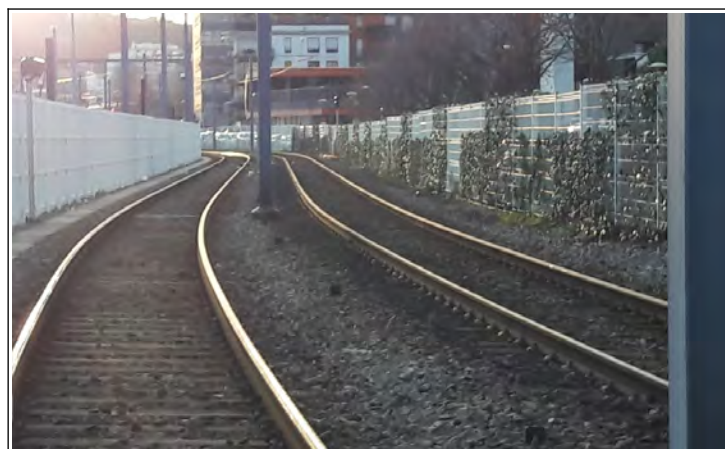


Figure 11 : voie du tramway T2 dans la zone de la collision

Il n'y a pas d'aiguillage dans la zone de la collision. Toutefois, des aiguillages sont présents en aval, au niveau de l'entrée Ouest ainsi qu'en amont, au niveau de l'entrée Est du SMR.



Figure 12 : plan des voies, emplacement des stations, du PCL et localisation de l'accident

Source : Cartometro.com – légendée BEA-TT

La voie 1 est la file de rail allant de Porte de Versailles à Pont de Bezons, et la voie 2 est la voie opposée allant de Pont de Bezons à Porte de Versailles.

2.2.4 - La signalisation ferroviaire

Deux types de signalisation sont installés sur la ligne T2 : la signalisation ferroviaire et la signalisation lumineuse des carrefours avec la voirie. Implantée dans les zones de manœuvre, la signalisation ferroviaire a pour but d'éviter le déraillement au franchissement d'un appareil de voie mal positionné et les collisions entre tramways.

Dans les zones de manœuvre, les tramways sont détectés par des circuits de voie. Pour obtenir l'ouverture d'un signal, toutes les conditions de circuits de voie libre, aiguilles en bonne position..., doivent être remplies.

Il existe une telle zone de manœuvre à faible distance du lieu de la collision. Elle permet de gérer les entrées et les sorties du côté Ouest du SMR. Elle est représentée sur la figure ci-dessous.

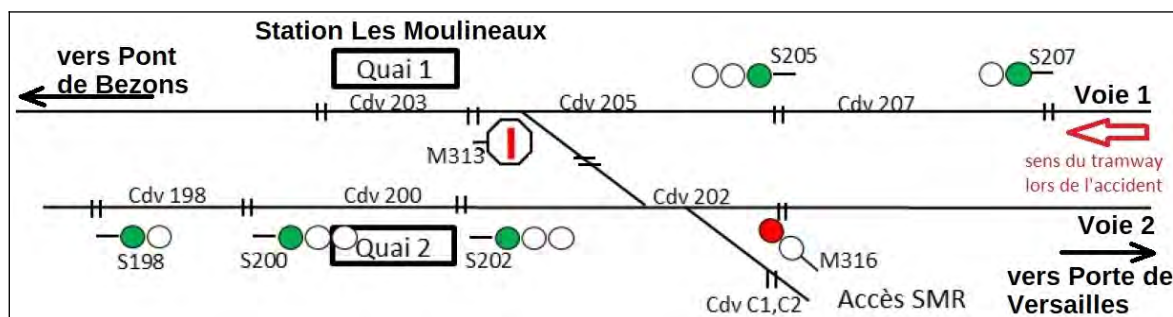


Figure 13 : aspect de la signalisation ferroviaire en l'absence de tramway, sur l'accès Ouest du site de maintenance et de remisage

Deux signaux sont implantés en amont de cette zone, sur la voie où circulaient les tramways accidentés :

- le S205 est un signal dont l'indication présentée dépend de la présence ou non d'un tramway devant lui au quai 1, que ce soit un service voyageur classique ou un tramway en fin de service manœuvrant vers l'entrée Ouest du SMR. À noter que si depuis décembre 2016, le S205 ne présente plus la couleur « jaune clignotant », la lentille du milieu a été conservée.

Signal S205	
	Circulation interdite, parcours interdit. Une manœuvre peut-être en cours, ou un tramway se trouve au quai 1.
	Circulation autorisée, parcours établi pour la voie commerciale.

Figure 14 : consignes d'exploitation pour S205

- 200 mètres avant le S205, le S207 est un signal qui peut présenter deux indications permissives : vert ou jaune clignotant. L'indication présentée par le signal S207 dépend de l'état d'occupation de la zone en aval et de l'indication présentée par le signal S205.

Signal S207	
	Circulation autorisée avec prudence. Un tramway se trouve entre le S207 et le quai 1 Les Moulineaux ou le signal S205 est fermé.
	Circulation autorisée.

Figure 15 : consignes d'exploitation pour S207

L'indication jaune clignotant du S207 avertit le conducteur de la présence d'un tramway en aval ou de la fermeture du signal de parcours situé en aval (S205) afin qu'il redouble d'attention, car il se rapproche du tramway précédent ou d'un signal de parcours présentant une indication d'arrêt rouge.

2.2.5 - L'énergie électrique

L'énergie électrique nécessaire à la circulation des tramways est un courant continu de 750 volts. Son alimentation est assurée directement depuis le réseau EDF et distribuée par l'intermédiaire de postes de redressement. La captation du courant par les tramways se fait sur les lignes aériennes de contact (LAC) par l'intermédiaire de leurs pantographes. Les poteaux supportant la LAC peuvent être disposés au centre de la plate-forme de voie ou latéralement.

La Coupure d'Urgence est commandée depuis le Poste de Commandement Ligne (PCL) et elle coupe l'alimentation électrique sur toute la ligne T2. Ensuite, c'est le Poste Central de Commandement Énergie de la RATP qui assure les réalimentations partielles, par sous-sectionnements.

2.3 - L'exploitation de la ligne T2

2.3.1 - La conduite des tramways

Le règlement de sécurité de l'exploitation du tramway (RSE) de la RATP présente les grands principes d'exploitation et de maintenance des lignes de tramways que la RATP exploite, afin d'assurer pendant toute la durée d'exploitation la sécurité des voyageurs, des personnels d'exploitation et des tiers. Le RSE a été approuvé dans son édition de décembre 2012, par l'arrêté du préfet de la région d'Île-de-France n° 2013-1-620 du 29 mai 2013. Des instructions et consignes de la RATP déclinent ce RSE.

La sécurité des circulations des tramways repose sur le respect des prescriptions du Code de la route qui leur sont applicables, sur l'observation des indications délivrées par leurs signaux spécifiques et sur le principe de la marche à vue.

Le principe de la **marche à vue** est défini dans le RSE de 2012 en vigueur lors de l'accident : *« La marche à vue consiste à adapter sa vitesse en fonction de l'environnement, de la partie de voie que [le conducteur] aperçoit devant lui, de manière à pouvoir s'arrêter dans les meilleures conditions possibles, quelles que soient les circonstances, avant un obstacle. La marche à vue permet de se prémunir des risques ferroviaires dans les zones de manœuvres non signalisées ainsi que des risques de rattrapage entre les rames. Aucun agent ne peut s'affranchir des consignes du régulateur et des interdictions données par les dispositifs de sécurité (veille, boucle de sécurité...) hormis les cas prévus dans les Instructions de Sécurité Ferroviaire et selon les procédures prescrites. »* Ce principe est répété dans l'instruction de sécurité ferroviaire « Responsabilités et obligations » - version de juin 2017 de la RATP.

Le règlement de sécurité de l'exploitation de la RATP, complétés par des instructions de sécurité ferroviaire, décrit les différentes tâches de sécurité effectuées par les agents de conduite des tramways :

- conduire les tramways en respectant la réglementation ;
- intervenir sur le tramway et les installations fixes notamment en cas d'anomalie.

Les agents sont formés et habilités en tant que conducteurs de tramway pour une ligne donnée.

La conduite est normalement assurée de la cabine située à l'avant dans le sens du mouvement. La vitesse maximale sur T2 est de 70 km/h et le RSE précise les vitesses limites en certains types de configuration (traversée de carrefour, entrée en station...). Des panneaux indicateurs de vitesse maximale (ou TIV - tableau indicateur de vitesse) sont placés le long de la voie, dans des zones données présentant des contraintes particulières (courbe, visibilité, aiguillage...). Ils indiquent la vitesse à ne pas dépasser par les conducteurs de tramway.



Figure 16 : indicateur de limitation de vitesse sur la ligne T2 : TIV 45 à proximité de la station Jacques-Henri Lartigue

Des modes dégradés sont prévus dans les cas suivants :

- lorsqu'un agent constate une anomalie, il en informe immédiatement l'encadrement qui prendra les dispositions nécessaires ;
- tout tramway stationnant sur voie principale en dehors des stations doit être signalé par l'allumage de ses feux de détresse ;
- en dehors des anomalies liées au matériel roulant, la circulation des tramways peut être affectée par des incidents, des travaux ou des accidents d'exploitation. Certaines situations peuvent nécessiter l'évacuation des voyageurs : elle est alors effectuée conformément aux règles de sécurité internes de la RATP.

2.3.2 - *La régulation du trafic des tramways*

La gestion de la circulation des tramways d'une ligne est contrôlée à partir d'un poste de commandement ligne (PCL), qui gère également les équipements de sécurité liés à la fonction transport. Le PCL de la ligne T2, situé à côté de la station Les Moulineaux, est tenu par deux régulateurs, habilités, de compétences similaires mais de missions différentes. L'un est « chef de poste » et l'autre, opérateur « interface ».

Le « *chef de poste* » donne, entre autres, toutes les instructions nécessaires aux manœuvres d'exploitation nominales et dégradées. Il a à sa disposition des outils lui permettant de gérer en temps réel toutes les informations et les commandes de contrôle concernant l'énergie, les communications et les systèmes de surveillance et de régulation.

L'opérateur « *interface* » assure principalement la traçabilité des actions et échanges sur la ligne et les mouvements au site de maintenance et de remisage.

La répartition des rôles entre l'interface et le chef de poste n'est pas formalisée. Un groupe de travail est en cours au sein de la RATP sur ce thème.

Dans le RSE, les différentes **tâches de sécurité de gestion des circulations et manœuvres effectuées par les agents de régulation** sont identifiées ainsi :

- commander les parcours depuis le PCL ou à pied d'œuvre ;
- gérer l'alimentation en énergie électrique de traction d'une ligne ;
- gérer la circulation des tramways d'une ligne ;
- définir et mettre en œuvre les mesures à prendre en cas de perturbation de l'exploitation de la ligne.

La fiche mission « *Régulateur Tramway* » de la RATP rappelle que les régulateurs sont garants de la sécurité des personnes et des biens dans l'environnement de la ligne régulée et ils sont les seuls responsables des autorisations de mouvement du matériel roulant, sur la ligne concernée. Ils doivent assurer la sécurité des circulations :

- sur les sites de maintenance et de remisage ;
- sur les zones d'injection et retrait de ligne ;
- en ligne (immobilisation, manœuvre rétrograde) ;
- sur les zones de manœuvre en ligne.

Les régulateurs disposent d'un écran de visualisation de l'ensemble de la ligne de tramway T2.

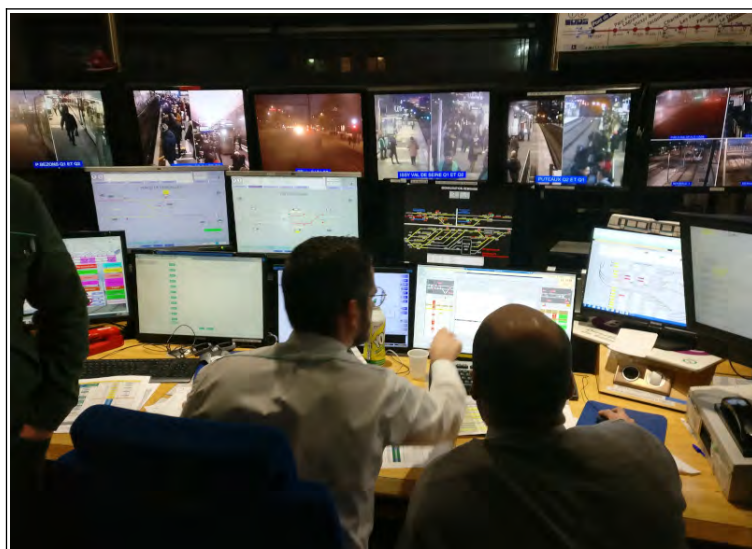


Figure 17 : poste de commandement ligne de T2

La localisation des rames n'est pas exacte, le rafraîchissement sur les écrans de contrôle n'est pas immédiat. Toutefois, ils ont l'information sur l'enchaînement des rames sur la ligne.

Les échanges de communication nécessaires à l'exploitation, entre les tramways et le PCL, s'effectuent à l'aide d'une radio sol-train (RST). Ils ne sont pas enregistrés.

2.3.3 - La mesure de la performance de la ligne T2

La régularité

Dans le contrat entre Île-de-France Mobilités et la RATP pour la période de 2016 à 2020, la priorité est réaffirmée à l'amélioration de la régularité (respect des intervalles entre tramways) et de la ponctualité (respect des horaires aux stations).

L'indicateur « régularité » est le rapport entre la somme des passages conformes à l'intervalle prévu avec une marge maximale de 2 minutes, et le nombre total de passages prévus sur la période mesurée. Il est exprimé en pourcentage. Ces mesures sont effectuées les jours pairs, jours comptant pour le calcul de la régularité vis-à-vis de l'autorité organisatrice et durant lesquels le management de la RATP effectue des contrôles. Ces comptages sont agrégés pour être remontés ensuite mensuellement à IdFM.

Régularité Ligne T2 (en %)					
	Trim. 1	Trim. 2	Trim. 3	Trim. 4	Annuel
2016	Non observé	98,6	99	98,7	98,8
2017	96,8	97,5	97,3	97,8	97,4
2018	98,2	98,2	98,6	98,5	98,4
NB : Changement de méthode de calcul au 1er Janvier 2017. Avant : mesure 1 jour sur 2 sur tranches horaires 4x2 heures Après : mesure 1 jour sur 2 journée entière					

Figure 18 : résultats de régularité de la ligne T2

Comme le montre le tableau ci-dessus, la régularité de la ligne T2 a été de 98,4 % en 2018. Les résultats de la ligne T2 sont les meilleurs de l'ensemble des lignes de tramway exploitées par la RATP (données 2018).

La production kilométrique

L'offre contractuelle kilométrique est définie dans les annexes du contrat IdFM-RATP 2016-2020. La mesure de la réalisation de l'offre contractuelle porte sur la production kilométrique, pour chacune des lignes du réseau de surface. Pour le mode tramway, elle est effectuée en rames par kilomètre commercial.

Pour le suivi de l'offre réalisée, la RATP fournit chaque mois à IdFM les écarts entre la production kilométrique prévue dans l'offre contractuelle et la production kilométrique effectivement réalisée, en distinguant les différentes causes de non-réalisation de service. Ceci est réalisé ligne par ligne et consolidé par mode de transport. Pour le mode de transport tramway, s'y ajoute le suivi en heure de pointe. Des pénalités financières sur l'exécution du contrat sont appliquées, notamment en cas de non-réalisation de l'offre kilométrique du service contractualisé.

La ligne T2 détient le nombre de kilomètres commerciaux réalisés le plus élevé des huit lignes de tramways exploitées par la RATP avec 2 266 188 km (chiffres 2018).

2.4 - La maintenance de la ligne T2

2.4.1 - La maintenance de la voie et des installations fixes

La maintenance de la voie et des équipements fixes est assurée au sein de la RATP par différents départements en charge de ces équipements. Ces départements définissent leurs politiques de maintenance en fonction des spécificités techniques des équipements, de l'environnement, des retours d'expérience, des contraintes réglementaires et des choix technico-économiques arrêtés par la RATP.

2.4.2 - La maintenance des matériels roulants

La maintenance du Citadis 302 de la ligne T2 est assurée par le département en charge du matériel roulant ferroviaire. Elle est organisée selon :

- une maintenance préventive, exécutée à des intervalles prédéterminés, de trois types :
systématique, conditionnelle ou prévisionnelle ;
- une maintenance corrective, exécutée après détection d'une panne.

2.4.3 - Les accès au site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux

Le site de maintenance et de remisage (SMR) historique de T2 est situé entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

Deux voies d'accès, « Est » et « Ouest », permettent l'accès au SMR Les Moulineaux. Le système de signalisation autorise des circulations dans les deux sens sur ces voies. Les appareils de voie de l'après-gare de la station Issy-Val de Seine (entrée Est) et ceux de l'avant-gare de la station Les Moulineaux (entrée Ouest) sont tous motorisés.



Figure 19 : vue satellitaire du SMR des Moulineaux (zone surlignée en vert), au sud des deux voies de circulation en exploitation

La rentrée au SMR par l'Est commence par une fin de service commercial à la station Issy-Val de Seine avec descente de tous les passagers. Le tramway circule dans le sens de la marche jusqu'à l'aiguillage 315 (indicateur IA315 et moteur d'aiguille T315). Puis il croise la voie de sens inverse en passant par les aiguillages 320 puis 318, prend la voie de service derrière le quai 2 de la station Jacques-Henri Lartigue et rentre au SMR après avoir franchi le portail Est préalablement ouvert de façon automatique.

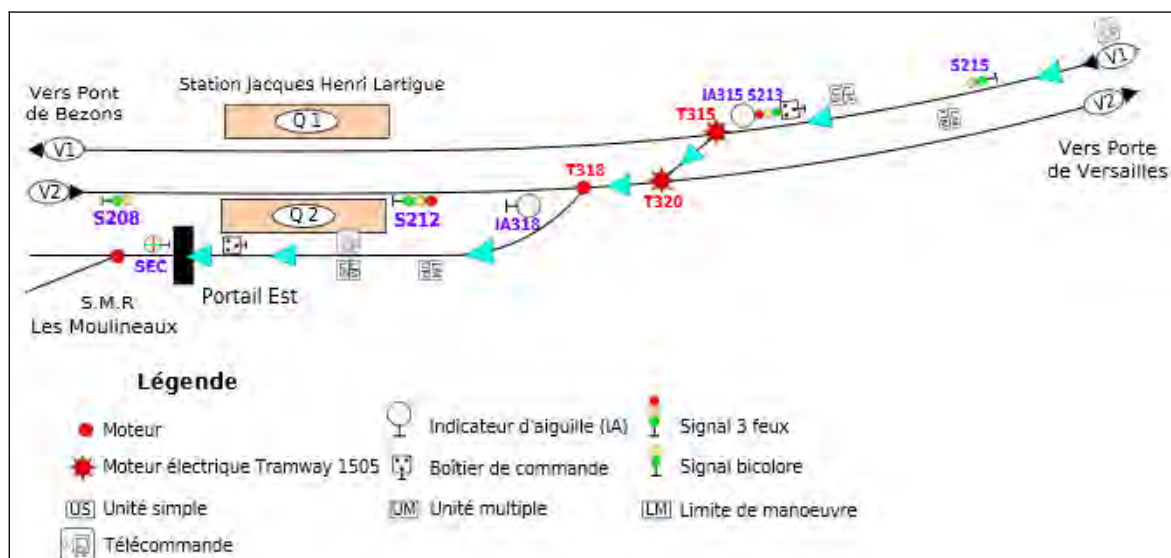


Figure 20 : schéma ferroviaire de l'accès Est du SMR par Les Moulineaux

La rentrée au SMR par l'Ouest depuis le quai 1 de la station Les Moulineaux se déroule ainsi : après la sortie des passagers en station, le conducteur remonte le long du tramway en vérifiant l'absence de voyageur et il change de cabine de conduite. Ensuite, si le quai opposé est vide de tramway, il commande son accès au SMR puis circule à contre-sens, protégé par l'enclenchement de son itinéraire et la signalisation ferroviaire. Il emprunte les aiguillages 313 puis 314 et 316 pour rejoindre la voie de service menant au portail Ouest du SMR. Le PCL commande alors l'ouverture du portail du SMR et affecte la voie de réception.

Cette rentrée par l'Ouest demande plus d'actions au conducteur et prend plus de temps que par l'accès Est.

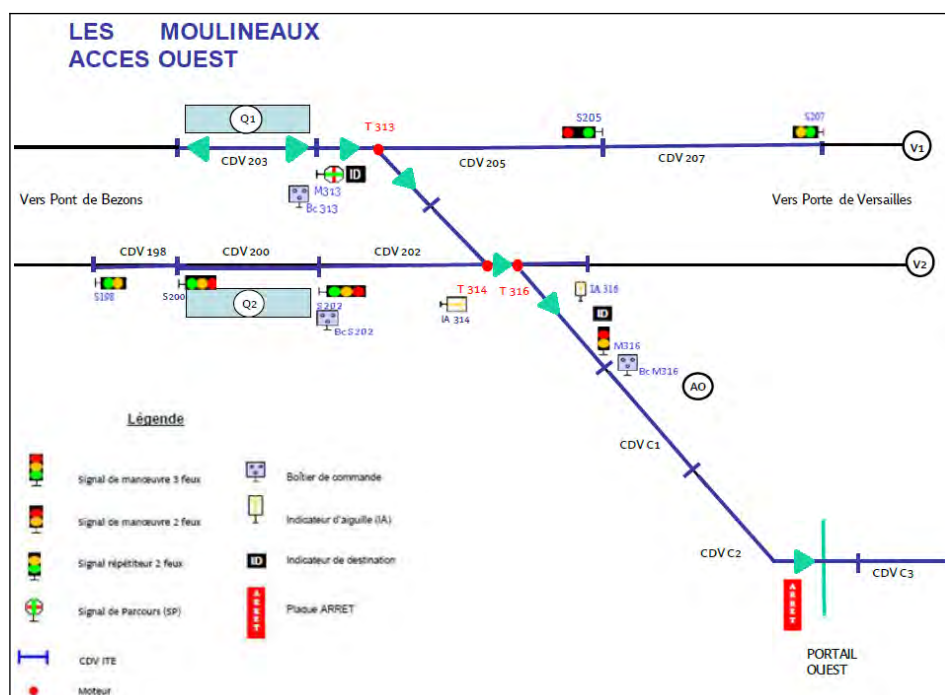


Figure 21 : schéma ferroviaire de l'accès Ouest du SMR par Les Moulineaux

Une rentrée est également possible depuis le quai 2.

La sortie des rames depuis le SMR se fait par l'Ouest en empruntant la voie de service et en stationnant aux quais 1 ou 2 de Les Moulineaux pour se diriger vers Pont de Bezons ou vers Porte de Versailles.

3 - Compte rendu des constats immédiats

3.1 - Emplacement des différentes rames au moment de l'accident

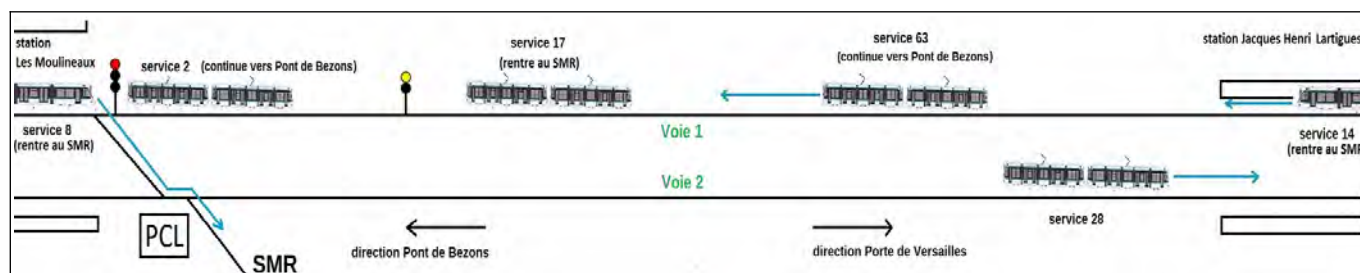


Figure 22 : schéma des positions des différentes rames au moment de la collision

Six tramways étaient présents sur la zone de l'accident comme indiqué sur le schéma ci-dessus :

- sur la voie 1, le tramway « service 8 » est à quai sur la voie 1 à la station Les Moulineaux. Il se met en mouvement et rejoint le SMR.
- sur la voie 1, le tramway « service 2 » attend au feu S205 qui est au rouge, puis reprend sa marche lorsque le feu passe au vert.
- sur la voie 1, le tramway « service 17 » (composé des rames 434 et 414) stationne dans l'interstation Jacques-Henri Lartigue / Les Moulineaux, en amont du feu S207 jaune clignotant. C'est le **tramway percuté**.
- sur la voie 1, le tramway « service 63 » (composé des rames 416 et 401) quitte la station Jacques-Henri Lartigue en direction de la station des Moulineaux. C'est le **tramway tamponneur**.
- sur la voie 1, juste après la collision, un tramway arrive de Jacques-Henri Lartigue sur le lieu de la collision, c'est le « service 14 ».
- sur la voie 2, le tramway « service 28 » circulant de Les Moulineaux vers Jacques-Henri Lartigue croise le tramway « service 63 » avant d'arriver à la station Jacques-Henri Lartigue.

3.2 - Résumés des déclarations

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

3.2.1 - Le conducteur du tramway tamponneur – « service 63 »

Le conducteur du tramway tamponneur est employé par la RATP depuis 2004. D'abord conducteur de bus, il est habilité à la conduite du tramway T2 depuis 2012. Il est formateur d'autres conducteurs sur T2 depuis un an.

Il avait annulé sa semaine de congé qu'il devait normalement prendre sur la semaine en cours, pour répondre à un besoin en conducteurs sur T2. Il était en repos les deux jours précédant le lundi 11 février 2019.

Le jour de la collision, il prend son service à 15 h, il effectue plusieurs allers-retours et il devait finir vers 22 h. À son troisième aller-retour, il fait une pause à Les Moulineaux puis prend un autre tramway et poursuit sa conduite en direction de Porte de Versailles.

Au dernier retournement au terminus de Porte de Versailles, l'IHM de ce tramway s'éteint de façon inopinée. Pour l'heure de son départ, le conducteur observe alors le bandeau d'information pour les voyageurs en station sur lequel l'information est affichée. Quand l'information « départ imminent » s'affiche, il attend quelques secondes puis démarre.

Lorsqu'il repart de la station Jacques-Henri Lartigue, il atteint la vitesse de 45 km/h conformément à la limitation en place sur cette zone. Au passage du panneau TIV 60 km/h, il surveille sa vitesse sur son indicateur de vitesse afin d'atteindre les 60 km/h puis pouvoir ensuite rouler sur l'erre sans dépasser cette vitesse.

Il se préoccupe également de ses prochaines tâches, à savoir si à Pont de Bezons il doit garer son tramway ou bien en changer. Il voit alors subitement un tramway devant lui. Il enclenche immédiatement le Freinage d'Urgence, il sent le tramway freiner et c'est le choc.

Sonné sur le coup, il retrouve ses esprits. Il est en position renversée dans la cabine. Il se préoccupe alors des voyageurs. Une personne derrière lui est inconsciente. Il appelle avec son téléphone portable personnel le PCL sans succès. Puis il contacte le chef de ligne. Il est ensuite pris en charge par les secours arrivés sur place.

Il déclare n'avoir reçu aucun appel par la radio sol-train au cours de son service et il n'a pas eu besoin de passer d'appel.

Il déclare également que son téléphone personnel était posé dans le vide-poche, à droite sur le tableau de bord et qu'il n'en faisait pas usage en conduisant. Il précise que le téléphone est utile pour communiquer avec le PCL en cas de défaut de la radio sol-train ou de pause du conducteur hors de son tramway.

Il n'a jamais vu autant de tramways à cet endroit. Le PCL avertit habituellement par la radio quand il y a congestion afin de réguler la circulation.

3.2.2 - Le conducteur du tramway percuté – « service 17 »

Embauché à la RATP en 1995 comme conducteur de bus, il est habilité en 2014 à la conduite tramway sur T2.

Le 11 février 2019, il commence son service à 14 h et devait terminer à 21 h 15. Jusqu'à 20 h 30, l'exploitation est normale. À Porte de Versailles, il effectue son retournement. C'est son dernier tour avant de garer son tramway au SMR des Moulineaux par l'Ouest. Il part de façon tranquille derrière le tramway qui le précède, pour ne pas être trop près : voyant ce tramway non loin devant lui, il sait qu'il devra attendre.

Après son départ de la station Jacques-Henri Lartigue, le PCL lui demande via la radio sol-train s'il peut temporiser son départ. Il l'informe qu'il a déjà quitté la station et qu'il s'arrêtera en interstation. Il ne se souvient pas d'un collationnement par le régulateur. Il précise que l'arrêt en interstation n'est pas souhaitable, car les voyageurs pourraient être tentés de descendre.

Il s'arrête à environ 15-20 mètres en amont du signal S207. Il allume ses feux de détresse. Le signal S207 est au jaune clignotant : il n'y a pas d'obligation d'arrêt mais l'usage est l'arrêt avant ce signal puis on peut s'avancer à discrétion avec une vitesse adaptée et réduite. Il reste toutefois à l'arrêt pour respecter l'inter-distance réglementaire de 200 mètres avec le tramway qui le précède et qui est arrêté au signal S205.

Lorsque le S205 est passé au vert, le tramway devant lui repart. Le conducteur s'apprête également à repartir lorsque le choc se produit : le tramway est secoué, la lumière s'éteint. Il vérifie si ses passagers vont bien puis ouvre les portes pour leur permettre d'évacuer. Il constate qu'il a été heurté par l'arrière, il baisse le pantographe, dé-prépare son tramway et il ressort pour venir en aide au collègue qui l'a percuté. La police, les pompiers et des agents RATP arrivent rapidement sur les lieux.

3.2.3 - Le conducteur du tramway croiseur – « service 28 »

Il est entré à la RATP en 2000 puis devient conducteur de bus en 2004. En 2010, il obtient son habilitation de conduite sur le tramway T2.

Le jour de l'accident, il commence son service à 16 h et devait finir à 23 h 30. Vers 20 h 30, il est en pause pendant 25 minutes dans les locaux du PCL, en restant à disposition. À la fin de sa pause, lorsqu'il arrive au quai de la station des Moulineaux située à une centaine de mètres du PCL, le tramway qu'il doit reprendre est déjà arrivé à quai et il croise le conducteur cédant.

Sur le quai opposé, il y a un autre tramway dont le conducteur est en train de changer de cabine de conduite pour rentrer au SMR.

Le conducteur du « service 28 » entre dans sa cabine, fait ses réglages puis il part. Sur l'autre voie, il croise un deuxième tramway arrêté au signal S205 puis un troisième tramway arrêté au S207. Il est alors étonné de voir un quatrième tramway qui quitte la station de Jacques-Henri Lartigue. Il lui fait le signe conventionnel mais non officiel de deux doigts signifiant « deux tramways » en ligne et un mouvement de haut en bas signifiant « doucement »³. Il est surpris de voir ce tramway en accélération.

Il entre alors en station Jacques-Henri Lartigue, effectue son échange voyageurs puis repart. Le régulateur demande via la radio sol-train en appel général s'il y a quelque chose entre Jacques-Henri Lartigue et Issy-Val de Seine : le conducteur répond qu'il n'y a rien à signaler.

Peu après, une coupure électrique d'urgence a lieu. Il reçoit, comme tous les conducteurs, l'ordre du PCL d'arrêter et de dé-préparer son tramway. Il effectue ces manipulations et évacue ses voyageurs vers la station Issy-Val de Seine.

3.2.4 - Le conducteur du tramway suiveur – « service 14 »

Embauché à la RATP en 2014 comme conducteur de bus, il est habilité en 2017 comme conducteur sur le tramway T2.

Le 11 février 2019 vers 20 h 30, il repart de Porte de Versailles et il est prévu que son tramway rentre au SMR. Lors de son parcours, il reçoit un appel général via la radio demandant au « service 17 » de remonter doucement, car la rentrée au SMR est en train de se finir, et demandant au « service 63 » de s'arrêter, car il est trop proche du « service 17 ».

Lorsqu'il arrive à Jacques-Henri Lartigue, le régulateur demande via la radio sol-train en appel général si quelqu'un peut lui dire ce qu'il se passe sur Issy-Val de Seine. Le régulateur lui semble anxieux. Le conducteur lui répond qu'il n'y a rien. Le régulateur demande alors à ce conducteur d'avancer doucement et de lui dire ce qu'il voit. Il avance

³ La RATP indique par la suite qu'il existe certaines pratiques non reconnues visant à alerter le tramway croiseur d'une situation particulière, par exemple des appels de phare ou gestes de la main. Ces pratiques ne sont pas universelles et sont déconseillées, notamment lors des suivis en ligne réalisés par l'encadrement local.

et voit les deux tramways accidentés : il arrête son tramway et il informe le régulateur. Puis la ligne aérienne est mise hors tension. Il fait une annonce aux voyageurs, les évacue vers Jacques-Henri Lartigue, puis assiste ses collègues et les pompiers.

3.2.5 - Le régulateur « chef de poste » au PCL

Conducteur de bus en 2004 puis régulateur de bus en 2012, il est habilité à la conduite et à la régulation sur T2 fin 2013. Il est dédié à la régulation T2 depuis 2015, tout en pratiquant occasionnellement mais régulièrement une conduite sur T2.

Le 11 février 2019, il est de service de 19 h à 2 h 30. De 19 h à 20 h, l'exploitation est calme et sans pression de régularité, car il n'y a pas de contrôle de régularité les jours impairs : ces jours-là, la régularité ne compte pas pour le contrat de performance RATP/IdFM. À partir de 20 h, il fait remiser les tramways venant de la Porte de Versailles au rythme de 1 tramway sur 2 puis 1 sur 3 et enfin 1 sur 4. Il explique que la majeure partie des rentrées au SMR ont lieu de 20 h à 20 h 30.

Pour permettre de rentrer au SMR depuis la station Les Moulineaux quai V1, les installations obligent à ce que le quai V2 soit libre : on laisse donc partir le tramway positionné sur V2, la priorité étant donnée au trafic commercial. Ce n'est pas simple, car les circulations sont serrées. Le conducteur change de cabine, commande sa rentrée au SMR, roule à 10 km/h et c'est le PCL qui commande l'ouverture du portail du SMR et affecte la voie de réception. Le régulateur estime qu'il faut 3 minutes 30 pour rentrer un tramway au SMR par la station Les Moulineaux.

Vers 21 h, un conducteur doit être relevé au quai 2 de Les Moulineaux et cela prend un peu de temps. En même temps sur l'autre voie, un tramway est en attente au quai 1 pour partir au remisage, un autre est positionné au S205, un au S207, et enfin un tramway entre Issy-Val de Seine et le S207. Ça « bouchonne » et donc le régulateur « chef de poste » effectue un appel général à la radio sol-train pour ralentir les tramways en voie V1. Tous répondent sauf le dernier conducteur, celui qui aura l'accident.

Le tramway relevé au quai V2 redémarre. Peu après, le régulateur « interface » est en communication avec un agent du SMR qui demande la coupure d'urgence. Au début, le régulateur « chef de poste » comprend un nez-à-nez entre Jacques-Henri Lartigue et Issy-Val de Seine. Il envoie un agent dans une voiture de service sur cette zone mais cet agent ne détecte rien d'anormal. D'autres conducteurs en ligne sur la zone répondent également ne rien voir d'anormal entre Jacques-Henri Lartigue et Issy-Val de Seine, cela génère de la confusion au PCL. La situation est éclaircie lorsque l'agent présent au SMR rappelle le PCL après avoir vu les tramways accidentés entre Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

Le collègue régulateur « interface » appelle la permanence générale RATP qui prévient les services de secours. Le régulateur « chef de poste » fait un appel radio général pour informer tous les conducteurs en ligne de l'accident, leur demandant d'évacuer leurs voyageurs et de dé-préparer les tramways. Il contacte ensuite chacun des conducteurs sur leurs téléphones portables pour confirmer. Une information sur tous les quais de T2 est également émise.

3.2.6 - Le régulateur « interface » au PCL

Embauché à la RATP depuis 2001 comme conducteur de bus puis conducteur de tramway T1 en 2003, il devient régulateur en 2015 sur T1, puis agent de maîtrise sur T2 et il est habilité comme régulateur T2 en 2018.

La mission de régulateur « interface » au PCL porte principalement sur la traçabilité. Il assure la rédaction du rapport journalier, l'ouverture des portails du SMR, la télécommande et l'affectation des voies au SMR, etc.

Le jour de l'accident, il est de service de 19 h à 2 h 30.

Un peu avant 21 h, le régulateur « chef de poste » fait un appel général sur la présence de tramways en voies 1 et 2 à Les Moulineaux. Le tramway du « service 17 » est prévu de rentrer au SMR. Le régulateur « interface » sait qu'il y a un tramway au S205 (« 2^e service »), car il le voit devant lui par la fenêtre du PCL. Le conducteur du « service 17 » a annoncé que, étant déjà parti de Jacques-Henri Lartigue, il s'arrêtera au S207.

Le régulateur « interface » reçoit un appel d'un agent présent au SMR qui lui demande des renseignements, car cet agent du SMR vient d'entendre un bruit fort. Cette communication entre le régulateur « interface » et l'agent présent au SMR entraîne une méprise momentanée sur le lieu de l'accident. Quelques instants plus tard, l'agent du SMR le rappelle et lui annonce l'accident et le déraillement. Le régulateur « interface » demande donc au régulateur « chef de poste » d'enclencher la coupure d'urgence, car le bouton est à proximité du siège du chef de poste. Après la coupure d'urgence effectuée, il demande aux conducteurs par la radio sol-train l'évacuation des voyageurs car aucun mouvement sur T2 n'est plus possible. Il fait l'appel à la permanence générale RATP pour l'envoi des pompiers.

3.2.7 - L'agent présent sur le site de maintenance et de remisage

Un technicien chargé de la maintenance corrective des tramways est témoin auditif de la collision : il se trouve dans l'atelier du SMR lorsqu'il entend un grand bruit, semblable à une explosion. Il regarde le tableau synoptique lumineux du SMR mais celui-ci ne présente aucune anomalie.

Il appelle alors le PCL via son téléphone portable de service afin d'indiquer que quelque chose ne va pas. Le régulateur n'est pas au courant. Le technicien cherche alors la cause dans l'atelier, puis il sort de l'atelier et voit deux tramways accidentés dehors sur les voies du T2. Il estime alors qu'il a dû se produire un nez-à-nez. Il rappelle le PCL pour faire couper l'énergie. Il se rapproche de la clôture du SMR pour voir : des voyageurs sortent déjà des tramways dans sa direction donc sur les rails. Le PCL lui demande quel effectif de pompiers envoyer. Il répond qu'il s'agit d'un accident grave. Il appelle ensuite son responsable.

L'agent traverse le portail du SMR pour accéder aux voies de T2. Quand il arrive, il y a déjà des pompiers sur place qui prennent en charge les blessés. Ensuite, de nombreux véhicules de secours arrivent.

Plus tard, il sera en charge de retirer l'enregistreur de paramètres des rames impliquées et à cette occasion, il éteint les warnings du tramway percuté.

3.2.8 - L'agent d'intervention en voiture de régulation

Conducteur de tramways sur T2 à partir de 2008, il est Machiniste Assistant Encadrement (MAE) depuis 2016. Il circule le long du réseau en voiture de service, faisant le lien entre les différents centres de bus et les sites de maintenance et de remisage des tramways, intervenant si besoin sur des constats d'accidents, des travaux inopinés, de la gêne à la circulation ou tout autre cause de perturbation.

Le soir de la collision, il est en service de nuit. Il apporte du courrier au poste de régulation de T2, où il reste quelques instants pour échanger avec ses deux collègues régulateurs. Un appel téléphonique est réceptionné par le régulateur « interface ». Les appels étant fréquents au PCL, l'agent MAE n'y prête pas attention et poursuit son échange avec le régulateur « chef de poste ».

Au bout de deux minutes, le régulateur « interface » interpelle l'autre régulateur et lui demande de couper l'énergie. L'agent MAE se met alors en retrait et le régulateur « chef de poste » cherche à comprendre pourquoi l'interface lui demande de couper. Les deux régulateurs cherchent la localisation de l'accident. L'agent se tient prêt à partir. Les régulateurs l'envoient sur Issy-Val de Seine. Il prend sa voiture de service et part. Il ne constate rien à Issy-Val de Seine. Puis le PCL l'informe que l'accident a lieu devant le SMR. L'agent arrive en même temps que les pompiers sur le site.

En arrivant, il rencontre le conducteur du tramway suiveur, le « service 14 ». Ce dernier a arrêté son tramway dans le virage aux environs du panneau de limitation à 60 km/h (TIV60). Il a évacué ses voyageurs et éteint son tramway.

L'agent aide les pompiers à transporter un brancard le long de la voie entre Jacques Henri Lartigue et le lieu de la collision. Les voyageurs sortaient des rames, les conducteurs aussi. Une fois sur le lieu de la collision, il devient chef d'incident provisoire, identifiable à l'aide d'un brassard. À l'arrivée du cadre de permanence, ce dernier le remplace comme chef d'incident.

Il précise ne pas avoir entendu le choc de la collision depuis la salle du PCL.

3.3 - Retranscription de la vidéosurveillance embarquée dans les rames

Les vidéos embarquées dans trois des quatre rames concernées par la collision ont pu être visionnées par les enquêteurs du BEA-TT. Elles permettent de visualiser les espaces voyageurs.

De l'exploitation de l'ensemble de ces vidéos, nous pouvons constater que :

Pour le tramway tamponneur « service 63 » :

- les vidéos ne donnent pas de visibilité sur l'intérieur du poste de conduite ;
- **le tramway entame un freinage fort 2 secondes avant le choc** : on observe trois passagers faisant un pas de côté pour se stabiliser ;
- au moment du choc, l'avant du tramway subit les plus gros dommages matériels ;
- un voyageur disparaît sous les décombres et ne se relève pas, d'autres chutent de leur siège ou se cognent la tête contre des composants des rames (barres, dos de siège...) ;
- le conducteur se relève depuis le sol de sa cabine, 61 secondes après le choc ;
- le conducteur sort de la cabine. Puis il revient dans sa cabine et il en ressort, son téléphone à la main, 93 secondes après le choc ;

- des voyageurs sortent du tramway en tirant la poignée de secours à côté des portes et en tirant sur les vantaux ;
- le conducteur marche à l'intérieur des deux rames quasiment jusqu'au bout de celles-ci puis passe un appel téléphonique, 3 minutes et 34 secondes après le choc. Il sort côté V2. Il remonte par l'extérieur sur V2 jusqu'à la première rame du tramway percuté en poursuivant son appel ;
- des gyrophares bleus sont visibles pour la première fois sur une vidéo 9 minutes 26 secondes après le choc.

Pour le tramway percuté « service 17 » :

- les warnings sont visibles sur les vidéos et bien activés quelques secondes après son arrêt en ligne le long des grillages ;
- son arrêt en ligne jusqu'au choc dure 1 minute et 43 secondes ;
- entre le choc et l'arrêt des secousses, il se passe 3 secondes ;
- après le choc, les warnings fonctionnent encore ;
- le conducteur ouvre sa porte de cabine 11 secondes après le choc ;
- l'autorisation de l'ouverture à la demande des portes situées sur le côté droit du tramway est enclenchée 52 secondes après le choc. Les voyageurs appuient sur les commandes d'ouverture, les portes s'ouvrent et les voyageurs sortent ;
- l'éclairage de secours dans le tramway s'active 1 minute 42 après le choc.

Pour les voyageurs en général :

- il y a peu de personnes dans les rames concernées au moment de la collision : environ une quinzaine de personnes réparties sur les deux tramways ;
- un voyageur montre des signes de panique, une personne est immobilisée au sol, grièvement blessée et les autres évacuent dans le calme.

3.4 - Les constats sur les tramways

Deux unités doubles sont concernées par la collision, ce qui correspond à quatre rames de tramway. Ce sont les rames n° 414 et 434 pour le tramway percuté « service 17 », et les rames n° 416 et 401 pour le tramway tamponneur « service 63 ».

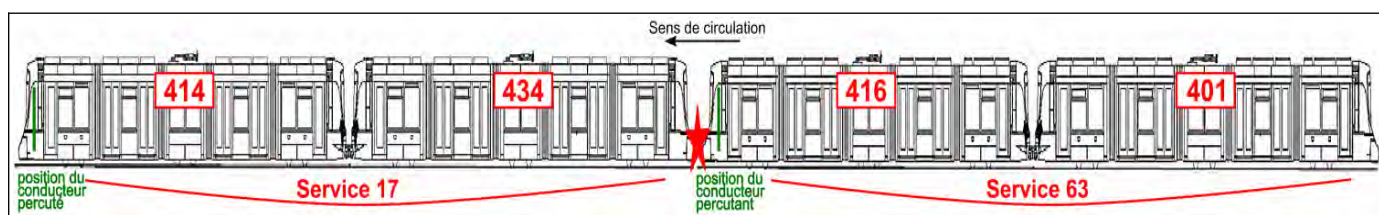


Figure 23 : les rames impliquées

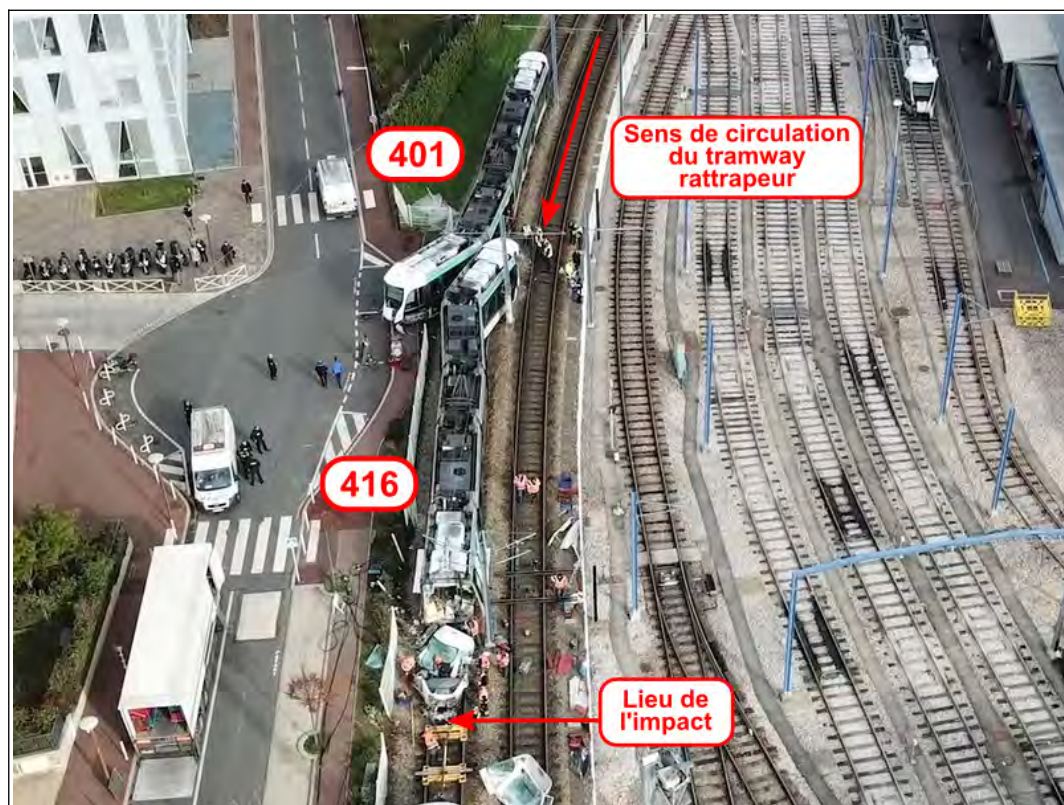


Figure 24 : le « service 63 » avec les rames 416 et 401 déraillées, le 12 février 2019 après enlèvement du « service 17 »

Les rames couplées du « service 63 » se sont désolidarisées lors du choc.



Figure 25 : rame 416 avant



Figure 26 : rame 401 avant

Au moment du choc, le tramway « service 17 » était en fonctionnement et à l'arrêt. Les rames couplées se sont également désolidarisées lors du choc.



Figure 27 : arrière de la rame 414, remisee au SMR



Figure 28 : arrière de la rame 434

Les dégâts matériels sur les rames sont importants, principalement localisés sur six cabines de conduite (cabine arrière de la rame 414, cabines arrière et avant de la rame 434, cabines arrière et avant de la rame 416 et cabine avant de la rame 401).

Le tramway du « service 14 » est resté stationné en voie à l'endroit où son conducteur l'a dé-préparé totalement, opération qui consiste à descendre les pantographes et à mettre le tramway hors service (extinction de l'éclairage cabine, fermeture de toutes les portes de cabine, allumage des feux de garage).



Figure 29 : le « service 14 » dans sa position finale et « service 63 » devant lui, sur le lieu de la collision

3.5 - Les constats sur l'infrastructure

La voie a localement subi un déplacement latéral et une traverse est détériorée.

Un poteau de la ligne aérienne de contact est incliné suite au choc de la rame 434 contre lui. Son socle en béton est fissuré.

Des barrières anti-intrusion blanches côté voirie sont endommagées.

Un véhicule routier particulier stationné en bord de voirie, sans occupant, a été percuté par la rame 401.



Figure 30 : poteau LAC impacté lors de la collision

3.6 - Les données des enregistreurs de paramètres

L'enregistreur de paramètres du tramway sur T2 mémorise tous les 0,5 mètres les données suivantes : la date et l'heure, la vitesse du tramway, la commande du freinage d'urgence (toutes commandes dont celles par le manipulateur), l'activation du coup de poing de sécurité, la cabine active, le déverrouillage des portes, la commande manuelle des patins magnétiques, le gong, la plage « Neutre-Traction » du manipulateur, la plage « Freinage-Neutre » du manipulateur...

3.6.1 - Les données de la rame tamponneuse

L'exploitation des données contenues dans l'enregistreur de paramètres de conduite de la rame 416 permet de tracer les actions réalisées sur le tramway « service 63 » entre la station Jacques-Henri Lartigue et la collision.

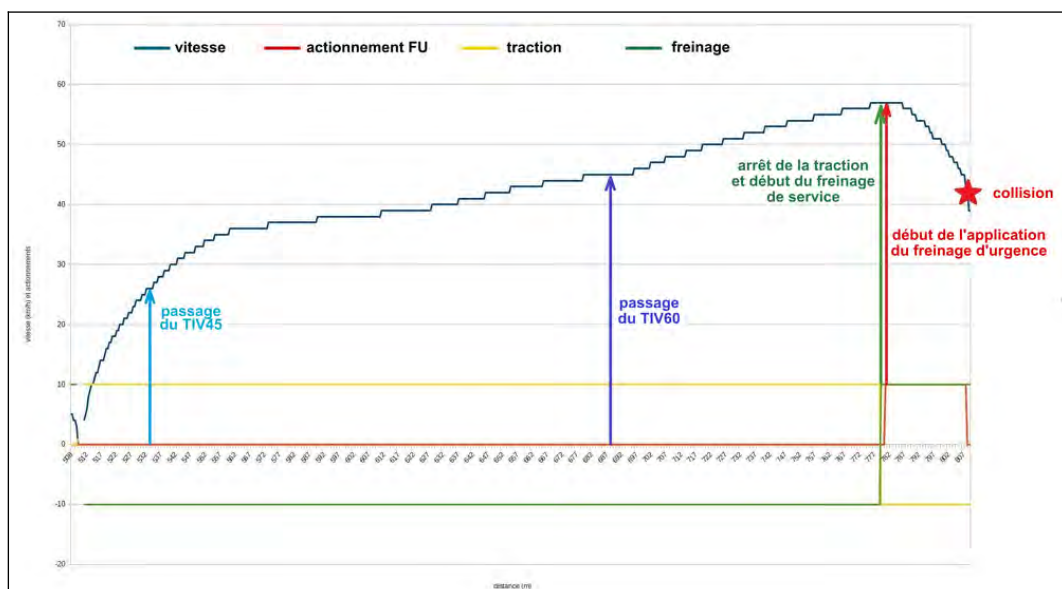


Figure 31 : graphe de la vitesse de la rame 416 selon la distance parcourue, depuis la station de Jacques-Henri Lartigue, issu des données de l'enregistreur de paramètres

Les observations suivantes peuvent être faites :

Kilométrage	Horaire	Information
40,510 m	21:00:15	Le tramway tamponneur arrive et s'arrête à la station Jacques-Henri Lartigue.
40,510 m	21:00:27	Le manipulateur de la rame 416 est en position « traction ». Le tramway tamponneur repart de la station Jacques-Henri Lartigue.
40,530 m	21:00:33	Le tramway passe au droit du tableau indicateur de vitesse 45 km/h, situé 20 mètres après la station.
40,684 m	21:00:47	Le tramway passe au droit du tableau indicateur de vitesse 60 km/h, situé 154 mètres après le TIV45. Il est à 45 km/h. Il poursuit sa traction.
40,778 m	21:00:54	La vitesse maximale de 57 km/h est atteinte. Le tramway a parcouru 268 mètres depuis la station Jacques-Henri Lartigue.
40,779 m	21:00:54	Le conducteur effectue un freinage « normal de service » au manipulateur sur une distance de 1 mètre, qui peut s'expliquer par le mouvement de tirage du manipulateur pour atteindre le cran du freinage d'urgence (FU).
40,780 m	21:00:54	Un FU est appliqué au manipulateur.
40,808 m	21:00:56	L'information « FU manipulateur » revient à zéro dans l'enregistreur, le tramway est à 43 km/h. Or le FU est irréversible sur les tramways du T2 : une fois enclenché, il ne peut s'annuler qu'à l'arrêt. La collision peut expliquer cette disparition d'état du FU.
40,809 m	21:00:56	Les deux dernières valeurs de l'enregistreur donnent une vitesse de 39 km/h. Ensuite, il n'y a plus de données. L'écrasement qu'a subi la cabine de la rame 416 a pu entraîner la détérioration du câblage de l'enregistreur.

À l'analyse de ces données, le BEA-TT considère que le choc a lieu à 43 km/h, à 21:00:56 (heure de l'enregistreur de la rame 416), 298 m après la station Jacques-Henri Lartigue (40,510 m à 40,808 m).

Entre le premier instant d'application du FU et le choc, la distance parcourue par la rame 416 est de 28 mètres (40,780 m à 40,808 m) et le temps écoulé est de 2 secondes (21:00:54 à 21:00:56).

3.6.2 - Les données de la rame percutée

L'enregistreur de paramètres de la rame 434 du « service 17 » s'arrête à 21:00:55 (heure de l'enregistreur de la rame 434), moment de la collision. Le « service 17 » est arrêté en ligne depuis 1 minute et 42 secondes. Sa vitesse maximale entre son arrêt en ligne et la station précédente (Jacques-Henri Lartigue) est de 38 km/h.

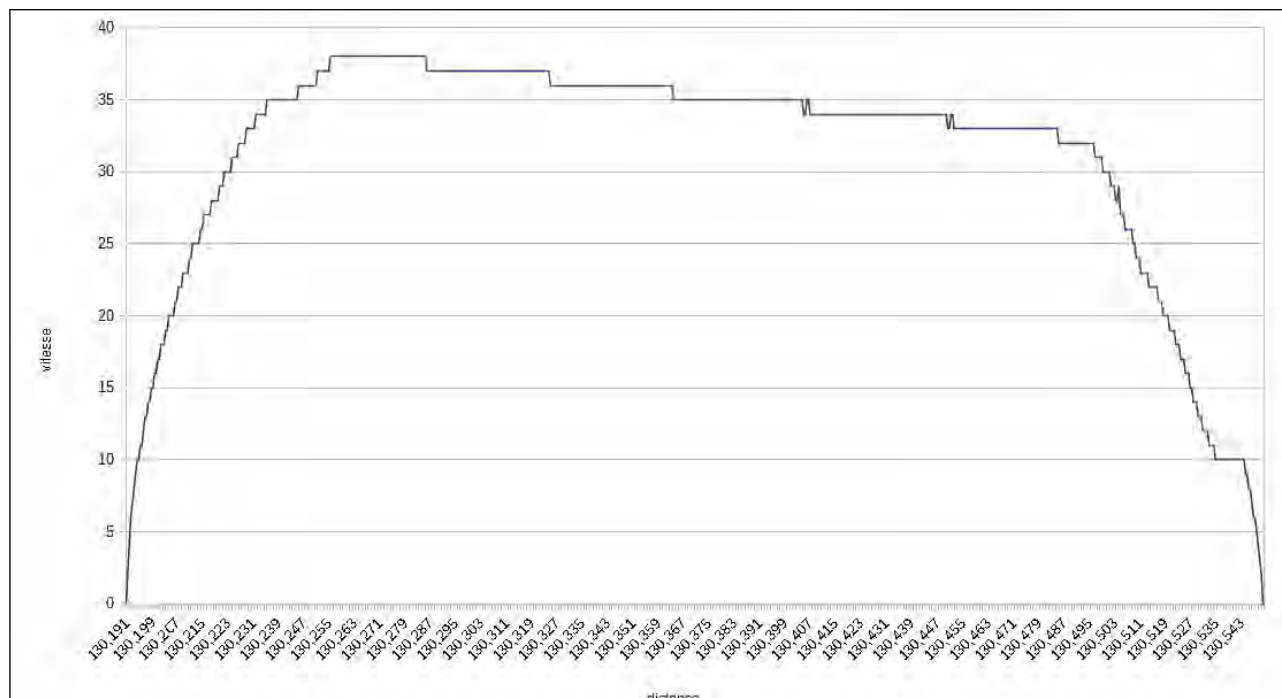


Figure 32 : graphe de la vitesse de la rame 414 selon la distance parcourue, depuis la station de Jacques-Henri Lartigue, issu des données de l'enregistreur de paramètres

La courbe de vitesse est cohérente avec le témoignage du conducteur du « service 17 » : il circule de façon « tranquille ».

3.7 - L'appel général du PCL

Les communications effectuées via la radio sol-train ne sont pas enregistrées au PCL de la ligne T2. Le croisement des témoignages confirme qu'un appel général a bien été émis par le PCL.

Selon le témoignage des conducteurs ayant reçu cet appel, le message du régulateur demande au « service 17 » de remonter doucement, car une rentrée au SMR est en train de se finir et au « service 63 » de s'arrêter, car il est trop proche du « service 17 ».

Selon le témoignage du conducteur du tramway percuté (« service 17 »), la demande par le PCL de temporiser son départ a eu lieu alors qu'il a déjà quitté la station Jacques-Henri Lartigue. D'après l'enregistreur de paramètres, il serait alors un peu plus de 20:58:23. Étant donné que le « service 17 » s'arrête en amont du feu S207 à 20:59:13, il peut être conclu que l'appel général du PCL aux conducteurs de T2 est passé entre 20:58:23 et 20:59:13, soit une estimation entre 1 minute 40 secondes à 2 minutes 30 secondes avant la collision.

L'appel a donc été émis au moins une minute avant que le tramway tamponneur n'arrive à la station Jacques-Henri Lartigue.

3.8 - L'évacuation des passagers

L'évacuation des passagers s'est effectuée dans de bonnes conditions. La quinzaine de voyageurs impliqués est sortie des rames globalement dans le calme. La personne grièvement blessée a été évacuée par les services de secours et a subi 60 jours d'incapacité temporaire totale de travail.

Le conducteur du tramway percuté a pu permettre l'ouverture des portes de façon classique en « self-service » par les voyageurs. Les passagers sont sortis sur les voies ou vers la voirie latérale du fait du grillage cassé par la collision.

Le tramway tamponneur n'était plus alimenté en électricité après la collision. Dans ce cas, lorsqu'une poignée d'alarme est tirée, le déverrouillage de la porte reste effectif après une temporisation de 15 secondes. Les voyageurs ont donc pu ouvrir les portes en actionnant les poignées d'alarme.

3.9 - La coupure d'urgence de l'alimentation électrique

Dans le rapport journalier d'exploitation qui recense les événements survenus sur la ligne et qui est renseigné par le régulateur ou l'interface, la coupure d'urgence est déclarée et inscrite comme effectuée à 21 h 05.

La RATP a précisé aux enquêteurs que la coupure d'urgence a eu lieu à 21:03:45.

Il s'est donc écoulé 2 minutes et 49 secondes entre la collision et la coupure d'urgence.

3.10 - Éclaircissements sur l'utilisation du téléphone portable

3.10.1 - *Le relevé des appels du téléphone portable du conducteur du « service 63 »*

Les enquêteurs du BEA-TT ont eu accès au relevé des données et des appels téléphoniques du téléphone portable du conducteur du tramway « service 63 », effectué par l'opérateur téléphonique en réponse à la réquisition de la police judiciaire.

Il peut être constaté une absence d'appel ou d'échange de données, émis ou entrant, sur le téléphone portable du conducteur le 11 février 2019 après 19 h 27. Le premier appel sortant est à 21 h 03, vers un poste fixe en région parisienne, et correspond à l'appel au PCL après l'accident. Ensuite, de nombreux autres appels sont émis depuis le téléphone portable.

Un voyageur assis derrière la cabine du conducteur a également témoigné ne pas avoir constaté d'usage du téléphone portable par le conducteur du tramway.

3.10.2 - *Les consignes aux conducteurs de la RATP concernant l'usage du téléphone portable*

La RATP effectue des contrôles de chacun des conducteurs de tramway via un suivi en ligne par leurs managers, effectué annuellement a minima. Le rapport annuel sur la sécurité des tramways de la RATP pour l'année 2018 mentionne deux non-respects des consignes de sécurité constatés lors de ces suivis, tous les deux pour utilisation d'un téléphone portable.

L'entreprise RATP, après une première phase de prévention sur l'interdiction de l'usage du téléphone portable en conduisant, a mis en place une politique de « tolérance zéro » en la matière. Une note d'avril 2014, destinée à l'ensemble de l'encadrement et diffusée par les chefs de groupes aux conducteurs, indique que :

« en application de l'article R 412-6-1 du Code de la route⁴, dont la rédaction est issue du décret 2003-293 du 31 mars 2003, il est rappelé que "l'usage d'un téléphone tenu en main par le conducteur d'un véhicule en circulation est interdit". Cette infraction donne lieu de plein droit à la réduction de trois points sur le permis de conduire. Compte tenu de cette disposition légale et des exigences liées à l'activité de machiniste receveur [...] l'usage d'un téléphone portable ou d'un kit piéton par un machiniste receveur est interdite en situation de conduite. [...] Ces dispositions impératives et obligatoires devront être respectées tant par les machinistes receveurs que par les agents d'encadrement lors de la communication de consignes d'exploitation. »

En cas de violation, le conducteur impliqué fait systématiquement l'objet d'un traitement disciplinaire par la RATP.

3.10.3 - Les audits du service de contrôle de l'État sur l'exploitation du tramway T2

Chargé du contrôle de la sécurité des tramways en Île-de-France, le Département de la sécurité des transports guidés (DSTG) de la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement (DRIEA) d'Île-de-France réalise régulièrement des audits des exploitants de transports guidés. En 2016, il a réalisé un audit ciblé sur les activités de l'unité opérationnelle de T1 (conduite des tramways, gestion des incidents et accidents, gestion des modifications du système). En 2017, il a audité de façon globale la maintenance du matériel roulant tramway de la RATP. En 2018, l'audit du DSTG a ciblé les activités relatives à la maintenance des installations fixes, en particulier la ligne aérienne de contact et les équipements de signalisation ferroviaire. Pour chacun de ces audits, aucune non-conformité n'a été identifiée.

Des observations sur la conduite sont également réalisées par le DSTG sur différentes lignes depuis deux ans. Elles consistent à observer discrètement le comportement de conduite de quelques conducteurs de tramway pendant 10 à 20 minutes. Les lignes T3b et T8 ont été concernées en 2018. Si le nombre des observations sur une journée est faible pour mener une analyse statistique, des tendances peuvent toutefois être dégagées. Les bilans indiquent globalement un respect des limites de vitesse. Des comportements d'inattention, ainsi que deux cas (sur 52) d'usage du téléphone portable en arrêt en station, ont été constatés. Suite à ces observations, la RATP, destinataire des conclusions du DSTG, a réalisé des actions correctives telles que le rappel des consignes, la lecture aléatoire d'enregistreurs de paramètres pour vérification du respect des vitesses, la sensibilisation de l'encadrement...

Le BEA-TT conclut sur la base des relevés par la police que, lors de l'accident du 11 février 2019, le conducteur du tramway tamponneur n'utilisait pas son téléphone portable, ni avant, ni pendant la collision, conformément aux consignes de la RATP.

4 Cette note interne à la RATP est destinée à l'ensemble des conducteurs RATP, en premier lieu les conducteurs de bus. Les conducteurs de tramways sont évidemment concernés également, bien que le Code de la route ne s'applique pas aux tramways (article R.110-3 du code).

3.11 - Conclusion sur les constats immédiats

Le lundi 11 février 2019 à 21:00:56, sur la ligne de tramway T2 du réseau parisien, le tramway « service 63 » percute par l'arrière un autre tramway, le « service 17 », arrêté en ligne. La collision a lieu au niveau du site de maintenance et de remisage des rames à Issy-les-Moulineaux, entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

Le choc a lieu à une vitesse de 43 km/h, 2 secondes après l'enclenchement du freinage d'urgence par le tramway tamponneur.

Deux unités doubles sont concernées par la collision, ce qui correspond à quatre rames de tramway. Les rames couplées se sont désolidarisées lors du choc. Les dégâts matériels sur les rames sont importants, principalement localisés sur six cabines de conduite.

Les dégâts sur l'infrastructure sont modérés et concernent la voie, un support de ligne aérienne ainsi que des barrières anti-intrusion.

Un appel du PCL aux conducteurs de T2 afin de ralentir la circulation a été passé, entre 1 minute 40 secondes à 2 minutes 30 secondes avant la collision.

Une coupure d'urgence a eu lieu dans un délai de 2 minutes et 49 secondes après la collision.

À ce stade de nos analyses, la cause de la collision par rattrapage entre tramways est identifiée comme étant le freinage tardif du conducteur du tramway tamponneur alors qu'une accumulation de rames se produisait devant lui.

Il peut être également établi que la perception tardive par le conducteur du tramway tamponneur de la rame arrêtée devant lui, n'est pas liée à l'usage du téléphone portable.

L'ensemble des constats immédiats nous amène à concentrer nos investigations :

- d'une part sur la compréhension des causes techniques ainsi que des facteurs organisationnels et humains ayant contribué à la situation dangereuse se présentant devant le conducteur au moment de l'accident ;
- d'autre part, sur les raisons de la perception tardive de cette situation par celui-ci.

4 - Compte rendu des investigations effectuées

4.1 - L'accumulation des tramways dans le secteur de la station Les Moulineaux

4.1.1 - *Le temps nécessaire pour effectuer le remisage d'un tramway sur le SMR par l'entrée Ouest*

Les tramways doivent passer selon une fréquence donnée par le contrat avec IdFM. En heure de pointe du soir, ils doivent être en théorie espacés de 3 minutes 30. À partir de 20 h, parmi les tramways en circulation commerciale, un tramway sur deux rentre au SMR en effectuant le parcours Porte de Versailles – Les Moulineaux – SMR, les autres tramways effectuant un parcours commercial « ligne complète » de Porte de Versailles à Pont de Bezons (voie 1). Le tableau de marche prévoit un intervalle de 1 minute entre la mission « ligne complète » et la mission partielle « Les Moulineaux » et de 4 minutes entre la mission partielle « Les Moulineaux » et la mission « ligne complète ».

Dans l'hypothèse où un tramway en sens inverse (voie 2) est présent à la station Les Moulineaux, ce tramway est prioritaire sur le tramway entrant, ce qui retarde la manœuvre d'accès au SMR.

Suite à l'accident, la RATP a réalisé plusieurs estimations sur l'intervalle effectif minimal (sans signaux restrictifs) entre deux tramways effectuant un parcours commercial « ligne complète » voie 1, encadrant une rame rentrante au SMR en présence d'un tramway croiseur (voie 2) :

- accès Est : en prenant pour hypothèse un tramway croiseur (en voie 2) stationnant 30 secondes à Jacques-Henri Lartigue, et une marge d'exploitation estimée à 30 secondes pour le mode tramway, l'intervalle minimal pratique entre 2 tramways « ligne complète » est de 4 minutes.
- accès Ouest : en prenant pour hypothèse un tramway croiseur (en voie 2) stationnant 30 secondes à Les Moulineaux, et pour le tramway rentrant depuis la voie 1, un temps d'échange voyageurs, de changement de cabine après avoir remonté le long du tramway (66 mètres) et de commande du parcours à destination du SMR de 2 minutes et 15 secondes, l'intervalle minimal pratique entre 2 tramways « ligne complète » est de 7 min 8 s.

S'il n'y a pas de tramway croiseur, le temps de remisage d'un tramway en provenance de Porte de Versailles depuis le quai 1 de la station Les Moulineaux a été chronométré à 3 min 39 s, ce qui correspond à un peu plus que la fréquence théorique de l'heure de pointe du soir (3 min 30 s).

Cette analyse des performances des manœuvres de rentrées au SMR démontre que le cadencement rapproché des départs à Porte de Versailles vers « Les Moulineaux » et « Pont de Bezons » (intervalle contractuel de 5 minutes entre deux rames commerciales en grande ligne encadrant une navette) est inférieur à l'intervalle minimal pratique de 7 min 8 s en présence d'un tramway croiseur, et génère ainsi dans le secteur de Les Moulineaux des arrêts de rames. Les aléas d'exploitation rencontrés s'ajoutent à ces délais : ils peuvent être un ralentissement à un carrefour, à un passage piéton, en station, un échange voyageurs plus long que la moyenne, une vérification nécessaire par un conducteur suite à un doute sur une rame, une relève tardive...

En conséquence, il existe un risque d'accumulation de tramways en cas d'aléas d'exploitation : dans le cadre des entrées au SMR par la station Les Moulineaux (accès Ouest), la gestion des aléas est complexe dans une configuration de cadencement élevé.

Parmi les mesures prises par la RATP après l'accident (cf §1.3), l'une est une consigne adressée à l'ensemble des régulateurs du T2 demandant de ne pas faire partir un tramway à destination de Pont de Bezons à moins de 4 minutes derrière une rame rentrante sur Moulineaux.

4.1.2 - L'accumulation des tramways dans l'interstation Jacques-Henri Lartigue / Les Moulineaux le soir du 11 février 2019

La vidéosurveillance de la station de Jacques-Henri Lartigue permet de connaître les horaires de passage des différents tramways dans cette station. Les horaires des tramways circulant en direction des Moulineaux sont indiqués dans la figure ci-dessous.

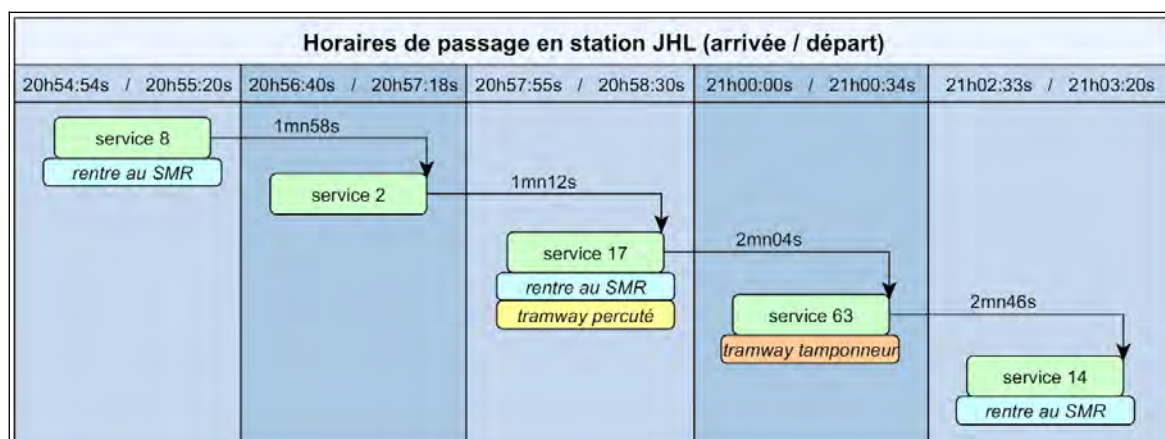


Figure 33 : horaires de passage donné par la vidéosurveillance à Jacques-Henri Lartigue

Nous constatons que le temps d'espacement entre les deux tramways « ligne complète » (services 2 et 63) a été de 3 min 16 s, là où un minimum de 7 min 8 s est nécessaire en présence d'un tramway croiseur, et, que les temps espaçant un tramway « ligne complète » et un tramway entrant au SMR ont été de 1 min 58 s et 2 min 4 s, là où 4 min sont souhaitables. Pour le « service 63 », il existait depuis le « service 8 » un déficit d'environ 6 minutes empêchant le bon écoulement des tramways (7 min 8 s – 3 min 16 s + 4 min 0 s – 2 min 4 s).

Les aléas d'exploitation subis entre Porte de Versailles et Issy-Val de Seine expliquent pour partie l'accumulation de tramways avec voyageurs entre Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

D'autres aléas ont eu lieu, notamment la relève du « service 28 » qui est le tramway croiseur circulant en voie 2. Le conducteur devant effectuer la relève attend au PCL, situé à une centaine de mètres de la station Les Moulineaux. Quand il arrive à la station, le tramway est déjà à quai et le conducteur précédent est sorti de la cabine. Selon la RATP, à 20:58:20, le tramway est présent au quai 2 et occupe le circuit de voie, bloquant ainsi l'accès au SMR. À 20:59:00, la relève a lieu. Le « service 28 » effectue son départ à 20:59:50 vers Porte de Versailles. Entre l'arrivée du tramway et son départ quai 2 de Les Moulineaux, il s'est écoulé 1 minute et 30 secondes. Un échange voyageur peut être estimé entre 30 et 45 secondes. La relève a donc empêché tout mouvement sur la zone pendant 45 secondes à 1 minute. Ce délai a augmenté le bouchon en formation sur la voie opposée entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

Le BEA-TT a recueilli plusieurs témoignages qui indiquent que d'autres conducteurs ont rencontré cette situation d'embouteillages de tramways à Les Moulineaux. Leurs témoignages précisent que cette situation n'est pas rare et qu'ils ne la trouvent pas idéale. Mais il ne nous a pas été possible d'objectiver la fréquence d'exposition à la situation. Avec une fréquence à 3 minutes 30 secondes en heure de pointe du soir et une

Le renfort de l'offre T2 et les entrées au SMR

La signalisation de la zone de manœuvre Les Moulineaux – SMR a été élaborée à la mise en service de la ligne T2 en juillet 1997.

Dans la pratique quotidienne, les manœuvres de rentrée au SMR se faisaient uniquement par l'Est depuis la station Issy-Val de Seine (cf §2.4.3 et parcours surligné vert sur le schéma ci-dessous) : les rames rentrantes circulaient avec voyageurs de Porte de Versailles jusqu'à Issy-Val de Seine, leur terminus commercial. Après la descente des voyageurs, les rames repartaient haut-le-pied dans le sens de la marche, croisaient la voie de sens inverse et rentraient au SMR par l'accès Est.

Le système a été conçu pour faciliter les entrées par l'Est tout en laissant la possibilité de rentrer exceptionnellement par l'Ouest.



En 2014, la communauté d'agglomération Grand Paris Seine Ouest a demandé à Île-de-France Mobilités le prolongement des services partiels de la ligne T2 d'Issy-Val de Seine à la station Les Moulineaux. IdFM (à l'époque Syndicat des Transports d'Île-de-France (STIF)) a alors demandé à la RATP de mettre en œuvre cette évolution dans le cadre plus global du programme de renforcement de l'offre 2015, mis en application le 18 juillet 2015. Le renfort de l'offre a consisté à diminuer l'intervalle entre deux passages en heure de pointe du matin de 4 minutes à 3 minutes et 30 secondes, évolution qui a nécessité l'arrivée de 6 rames supplémentaires (3 unités doubles) et la réalisation de travaux d'adaptation des infrastructures existantes.

49

manœuvre existantes situées à Issy-Val-de-Seine et Suresnes-Longchamp de façon à en améliorer l'exploitabilité et la sécurité.

Pour ce qui concerne les dessertes des services partiels, depuis ce renfort, les tramways rentrants circulent avec voyageurs de Porte de Versailles à leur terminus Les Moulineaux, et non plus Issy-Val de Seine. Après la descente des voyageurs, les tramways repartent haut-le-pied dans le sens contraire de leur arrivée, croisent la voie de sens inverse et rentrent au SMR par l'accès Ouest (à gauche sur le schéma ci-dessus, parcours surligné violet).

Ce renforcement utilise les installations du poste d'Issy conformément aux consignes de sécurité ferroviaire de la RATP, notamment la manœuvre de changement de voie et d'entrée au SMR signalisée. Aucun aspect rédhibitoire n'est apparu pour la RATP et le STIF. Les modifications de signalisation ont été soumises aux processus d'analyse de sécurité de la RATP, avec l'application notamment des principes de contre-vérification et de validation. La RATP n'a pas considéré que le renfort de l'offre sur T2 impactait le niveau de sécurité existant. Le retour d'expérience de l'exploitant quant à cette évolution n'a, depuis, pas mis en évidence de problématique particulière. Aucune analyse de performances ou de sécurité des manœuvres de rentrées au SMR n'a été réalisée concernant le changement du mode d'exploitation.

Fin octobre 2016, la RATP a émis auprès du STIF, qui l'a soumis aux services de contrôle de l'État, une note de non-substantialité⁵ intitulée « T2 renfort - Reprise de la signalisation existante ». Cette note traitait entre autres des modifications de la signalisation ferroviaire sur les secteurs Issy-Val de Seine (appareil de voie juste après la station et non celui de l'entrée au SMR, plus loin), Suresnes Longchamp et Porte de Versailles ainsi que la reconfiguration partielle de l'entrée du site de remisage et de maintenance de La Marine. Bien que cette note porte sur l'adaptation de l'infrastructure existante pour augmenter la fréquence des circulations, l'analyse n'a pas intégré le SMR des Moulineaux.

5 Le décret n° 2017-440 du 30 mars 2017 relatif à la sécurité des transports publics guidés définit une modification substantielle comme toute modification d'un système de transport public guidé ou d'une partie de système de transport public existant, dès lors qu'elle modifie la démonstration de sécurité exposée dans le dossier de sécurité prévu aux articles 38 et 68 ou, en l'absence d'un tel dossier, dès lors qu'elle conduit à un changement notable des fonctions de sécurité du système ou qu'elle nécessite l'emploi de technologies nouvelles.

Les consignes RATP traitant des mouvements vers le SMR

Dans la consigne d'exploitation de la ligne T2 de la RATP en vigueur au moment de l'accident et datée de novembre 2018, la voie d'accès Ouest du SMR Les Moulineaux n'est identifiée que comme voie de sortie.

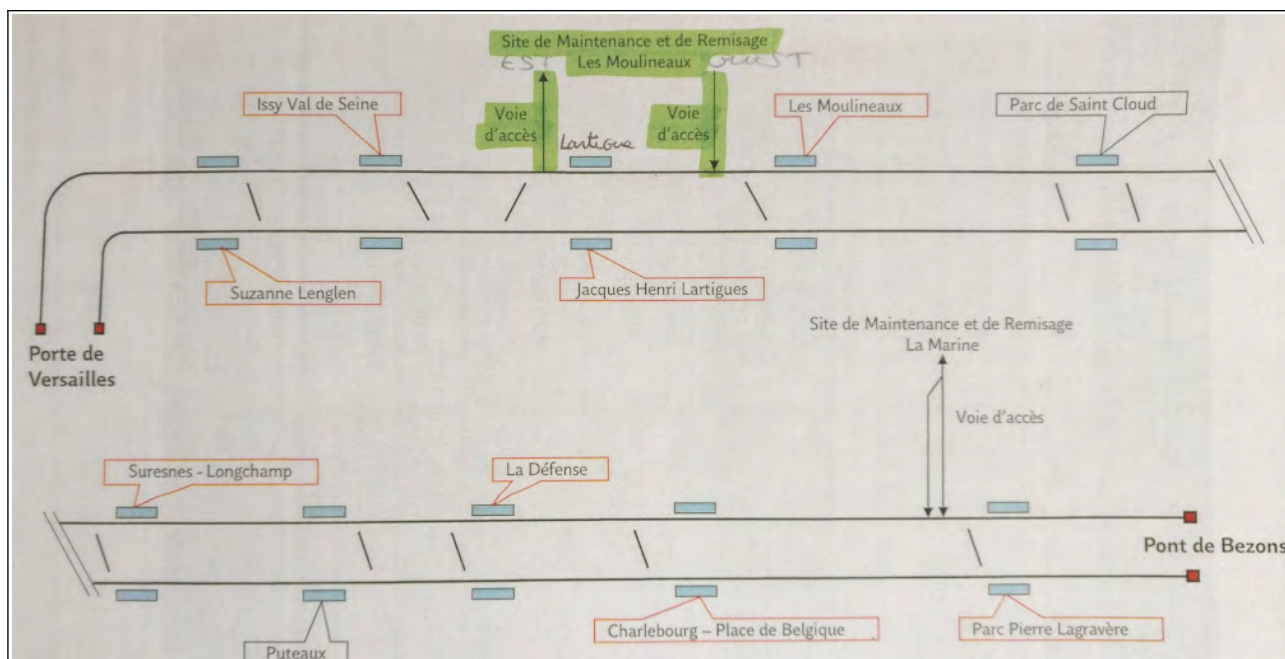


Figure 35 : schéma dans la consigne d'exploitation de T2 de novembre 2018

La consigne d'exploitation de la ligne T2 de mai 2019, postérieure à l'accident, intègre une modification au paragraphe 5.3 « Emplacement des services provisoires » : elle matérialise une double flèche pour les entrées et sorties par l'accès Ouest sur le SMR.

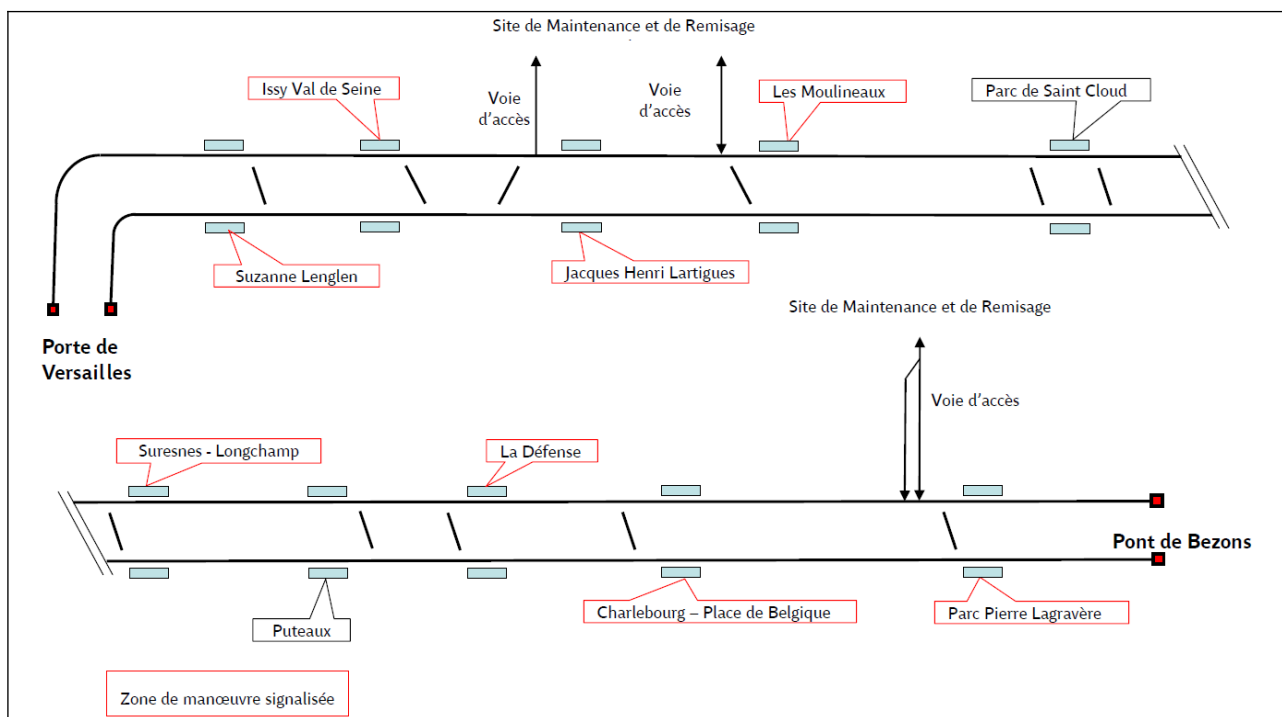


Figure 36 : schéma dans la consigne d'exploitation de T2 en mai 2019

La mise à jour du schéma de la consigne d'exploitation de T2 a utilement été effectuée depuis l'accident. L'entrée au SMR par l'accès Ouest est toutefois toujours identifiée comme exceptionnelle alors que dans la pratique, celle-ci est utilisée tous les soirs pour la rentrée des rames.

Dans les deux versions de la consigne d'exploitation de la ligne T2 (novembre 2018 et mai 2019), le chapitre 7.11.1 sur le portail Ouest est identique et indique : « *Mode nominal : En sortie, le portail s'ouvre automatiquement lorsqu'il y a détection d'approche. En entrée **exceptionnelle**, le portail s'ouvre à partir d'un boîtier de secours à l'aide de la clé BC 30.* ».

Cette entrée par l'accès Ouest présente des conditions d'accès moins fonctionnelles par rapport à l'entrée historique. Les délais de manœuvre d'entrée sont aussi plus importants, comme nous l'avons analysé précédemment. Ces conditions ne sont pas sans conséquence sur les enjeux de sécurité et auraient justifié une analyse de la part de la RATP.

4.2 - La mise en alerte des conducteurs par la régulation

4.2.1 - La disponibilité de la radio sol-train

Dans son témoignage, le conducteur du tramway tamponneur ne mentionne pas le message émis par le PCL. Par contre, les témoignages des deux régulateurs et des deux autres conducteurs indiquent que l'appel a bien été émis. Deux possibilités sont envisageables : la non-transmission de l'appel général via la RST dans la cabine ou la non-perception par le conducteur de ce message audio. Nous allons développer ici le premier cas, le second le sera dans le paragraphe portant sur les facteurs humains.

Le système de communication, dit radio Tétra ou radio sol-train, est composé d'équipements embarqués dans les matériels roulants exploités sur T2, de relais au sol et de postes fixes au PCL. La radio sol-train permet notamment de mettre en communication phonique les conducteurs avec le PCL, et réciproquement. Les conducteurs peuvent, depuis la cabine d'une rame, appeler ou répondre au PCL. Du PCL, deux types de communication sont possibles vers le(s) conducteur(s) : les appels de groupe et les appels individuels. Un appel individuel est à destination uniquement du conducteur du tramway identifié. Il nécessite une recherche de l'association tramway-agent par le régulateur sur l'outil Tétra. Les appels de groupe s'adressent soit à un secteur géographique, soit à l'ensemble des conducteurs de la ligne considérée, soit à l'atelier de maintenance – les combinaisons étant possibles. Au moment de l'accident, l'appel était un appel de groupe à l'ensemble des conducteurs de la ligne T2.

À chaque sortie depuis le SMR, toute rame fait l'objet d'une procédure obligatoire de préparation. Cette préparation a pour but de vérifier l'équipement de la rame, son état de fonctionnement avant de lui autoriser la mise en mouvement et l'exploitation commerciale. Cette procédure donne une check-list de préparation. De nombreux points sont vérifiés dans les deux rames de l'unité double par le conducteur. Toute anomalie doit être signalée au régulateur qui prend les dispositions nécessaires. Les actions à réaliser en cabine n'incluent pas spécifiquement d'appel par la radio vers le PCL. Cet appel est toutefois effectué après que toute la procédure a été réalisée, lorsque le conducteur demande l'autorisation de sortie du SMR, puis lorsque l'autorisation est donnée par le PCL au conducteur. Cependant, les équipements radio d'une cabine fonctionnent indépendamment de ceux de la cabine de l'autre extrémité du tramway. Le bon fonctionnement des équipements dans une cabine n'implique donc pas le fonctionnement dans l'autre. En sortant du SMR, le conducteur teste l'équipement radio de la cabine de la rame de tête, mais pas celui de la cabine opposée. Au retournement en terminus, lorsque

le conducteur s'installe dans la cabine, le test de la radio n'est pas prévu. Ainsi, du début de son parcours commercial et au cours de celui-ci, la RST est testée dans une seule des deux cabines de conduite ce qui ne préjuge aucunement du bon fonctionnement de la RST en cabine opposée.

D'autres vérifications de la radio existent au titre des actions de maintenance. La rame 416 (rame de tête au moment de l'accident) était passée en maintenance préventive le 14 janvier 2019, 28 jours avant l'accident. À l'issue du passage en atelier, des tests ont été effectués sur cette rame 416, incluant des tests de radiotéléphonie dans les deux cabines. Ces tests sont effectués à chaque entretien préventif soit tous les 16 500 km, conformément à une procédure interne de la RATP. Enfin, pour information, le dernier signalement pour un problème sur l'équipement de la radio sol-train de la rame 416 datait du 29 mai 2018.

Au cours de la journée du 11 février 2019, jour de l'accident, la RATP a réalisé une vérification des RST des rames en circulation. Cette vérification a été initiée par le responsable d'exploitation de la ligne T2 suite au signalement adressé par un représentant du personnel sur des problèmes de radiotéléphonie. La méthode utilisée est la vérification du fonctionnement nominal entre le PCL et les tramways en circulation depuis les cabines par l'un des régulateurs. Dans le PV d'essais, il est indiqué que la radio de la cabine M2 de la rame 416 présentait un bon fonctionnement. Par contre, sur les 29 cabines des rames vérifiées ce jour-là (parmi les 66 rames de T2 soit 44 % des rames), deux d'entre elles ne pouvaient émettre d'appels et une troisième présentait une émission faible. Ainsi 10 % des cabines vérifiées le 11 février 2019 présentaient une RST imparfaitement fonctionnelle alors que, ayant été autorisées à sortir du SMR, elles avaient précédemment émis et reçus les appels.

Le lendemain de la collision, un constat contradictoire entre un responsable d'exploitation d'une autre ligne de tramway RATP et les services de maintenance a été effectué sur le poste PTE (Poste Tetra Emetteur, une partie du système radio sol-train) de la cabine M2 de la rame 416, testé sur une autre rame (étant donné l'état de la cabine 416 après la collision). Les essais (appel depuis la cabine vers le PCL et réception en cabine du message général du PCL) montrent le bon fonctionnement du poste Tétra émetteur équipant à l'origine la rame 416 en cabine M2.

Les différents témoignages des conducteurs et des régulateurs indiquent que cette radio sol-train fonctionne parfois mal. Des difficultés se sont également présentées par le passé en période hivernale. Pour pallier le défaut de la RST, il existe un usage non conventionnel de la radio via le combiné par les conducteurs, consistant en un appui sur la pédale d'alternat pour émettre un son reçu par le PCL. Lors de ses investigations, le BEA-TT a constaté que les procès-verbaux des réunions du CHSCT de 2016 à 2019 évoquaient à deux reprises le sujet de la radio sol-train. Une réunion en janvier 2017 évoque des « *problèmes de fonctionnement des outils (radio TETRA...)* » et « *la radio TETRA qui ne fonctionne pas* ». Une réunion de septembre 2017 expose le cas de non-réponse d'un régulateur PCL à un conducteur et les actions possibles d'un conducteur de tramway dans cette situation, dont le cas de la défaillance de la radio. Il ressort donc que la radio sol-train des tramways est un point de préoccupation des représentants du personnel.

Si la radio sol-train dysfonctionne en cours de service, le conducteur n'a pas l'information sur son pupitre de conduite. Il n'entend plus de messages du PCL. Il ne s'attend à rien et l'absence de message peut lui paraître normal comme lors d'un jour calme. La quantité des échanges via la radio est variable selon les jours. Dans le cas où une anomalie est détectée en service commercial, le régulateur effectue une demande d'intervention auprès des services de maintenance et le tramway termine son service.

En conclusion, la radio sol-train sur la ligne T2 fonctionne globalement bien mais souffre de dysfonctionnements fugitifs ponctuels en cabine, dans un contexte général de disponibilité correcte. N'ayant aucune information du fonctionnement de la RST de la motrice M2 de la rame 416 entre 20 h et 21 h, malgré le fait que cette RST fonctionnait en sortie du SMR à midi, il est possible que la RST ait pu dysfonctionner et ne pas transmettre dans la cabine dans les minutes qui précèdent la collision.

4.2.2 - Le collationnement des messages d'alerte

Divers messages sont émis via la radio RST entre PCL et conducteur, dont des messages d'alerte : ralentir, attendre en station, évacuer les voyageurs, dé-préparer la rame... La radio est un moyen pour les régulateurs d'assurer leurs tâches de sécurité et de gestion des circulations et manœuvres.

La formulation des messages émis pour demander des actions de régulation n'est pas codifiée. Elle est à l'appréciation des régulateurs. D'une manière générale, un « secteur » est défini par une interstation ou une station, tandis que les tramways appelés sont désignés par leur numéro de service. La méthode d'appel (général ou individuel) est fonction de la nature du message et du nombre de services concernés.

Lors d'un appel radio général ou individuel par le PCL, le conducteur doit collationner c'est-à-dire accuser réception du message que le régulateur vient de lui envoyer. Cette règle est rappelée par l'instruction de sécurité ferroviaire de la RATP intitulée « Circulation des tramways ». La version en vigueur en février 2019 indique :

*« Chaque cabine est équipée, d'une liaison phonique permettant de communiquer avec un ou des voyageurs, d'une liaison inter cabine, et d'une radio téléphonie assurant les communications agent de conduite - régulateur ou agent de conduite - opérateur Permanence Générale. **Tous les messages doivent être collationnés.** Rame en mouvement, l'usage de la radiotéléphonie n'est pas autorisé lorsque le tramway roule dans un secteur où il partage la voirie avec des véhicules tiers. Lorsque la radiotéléphonie est hors service, l'exploitation de la ligne est maintenue. Toute anomalie doit être transmise au régulateur par les autres moyens de communication mis à disposition. »*

En cas d'absence de collationnement, le régulateur doit réitérer sa consigne et demander le collationnement. En cas d'avarie de la radiotéléphonie, il devra envoyer un message écrit sur l'IHM, ce qui fait afficher sur l'IHM du conducteur un message sous forme de « pop-up » et une alarme se fait entendre.

Cette règle du collationnement est apprise par les agents de conduite lors de leur formation initiale. Un rappel est effectué lors de la formation continue « Tram+ ».

L'instruction « Circulation des tramways » a été modifiée en novembre 2019, postérieurement à l'accident, donnant plus de précisions sur le collationnement attendu et la formulation des messages :

*« Collation des messages : une prise de contact avec retour d'accusé de réception est requise afin de s'assurer de la disponibilité de l'interlocuteur. [...] Pour éviter tout risque d'erreur sur les actions attendues, le récepteur doit répéter le message tel qu'il est formulé par l'émetteur. [...] **Pour s'assurer de la bonne compréhension des messages liés à la sécurité et à la gestion des circulations, ces derniers doivent être collationnés notamment : - le franchissement de signaux ferroviaires, - la commande et manœuvre des parcours (rebroussement, marche rétrograde, mouvement de recul...),- les ordres et consignes liés à la sécurité (stationnement, autorisation de mise en mouvement, intervalles entre les trains, mise en sécurité de la rame,***

restriction de vitesse, vigilance particulière...). Les messages doivent être formulés comme suit : - récepteur : identification de l'agent de conduite par son service, - émetteur : le régulateur, - description de l'action : autorisation, ordre... »

Les actions à mener en cas de non-collationnement ne sont pas décrites dans cette instruction.

Du fait de messages liés à la sécurité transmis via la radio sol-train, le collationnement est une action indispensable à la vérification de la bonne réception de ces messages. L'absence de collationnement doit alerter le régulateur. La modification de l'instruction de sécurité ferroviaire de la RATP « Circulation des tramways » clarifie ce qui est attendu des deux parties. N'ayant pas l'horaire exact de l'émission de l'appel général depuis le PCL, les enquêteurs du BEA-TT ignorent le temps qu'avait le régulateur pour constater un collationnement absent, répéter son appel puis envoyer le message via l'IHM. Et si l'IHM du tramway tamponneur était en panne, il n'y a aucune assurance que le conducteur ait reçu l'alerte.

4.3 - La situation en aval du tramway tamponneur et le délai de réaction de son conducteur

Pour évaluer la distance de freinage disponible et la visibilité du conducteur sur la rame arrêtée devant lui, une reconstitution sur plan et une reconstitution sur site ont été réalisées.

Pour rappel, la collision a eu lieu de nuit, avec éclairage urbain.

4.3.1 - La localisation du tramway « service 28 » circulant en sens inverse

Lorsqu'il part de Jacques-Henri Lartigue, le « service 63 » croise le « service 28 ». La visibilité sur le tramway arrêté en ligne devant le « service 63 » est optimale lorsque les services 63 et 28 terminent leur croisement. Les vidéos intérieures du « service 63 » permettent d'identifier le moment de croisement : la cabine de tête du « service 28 » est au droit de la cabine arrière du « service 63 », 11 secondes⁶ avant le choc et 18 secondes après le départ de Jacques-Henri Lartigue.

Dans les données de l'enregistreur de paramètres du « service 63 », le conducteur utilise la sonnette pendant une seconde et stoppe son utilisation 108 mètres et 15 secondes après son départ de la station Jacques-Henri Lartigue. Étant donné qu'il n'y a pas de tiers possible après la station, nous supposons qu'il s'agit de l'usage de la sonnette par le conducteur dans le cadre de la fin du croisement d'un autre tramway, le « service 28 ».

⁶ Les heures des vidéos intérieures sont décalées de 3 secondes plus tôt par rapport à l'enregistreur de paramètres de la rame 416 du « service 63 », le choc est horodaté à 21 h 00 min 53 s.

Ces deux sources donnent des résultats proches. Nous nous basons sur les données de l'enregistreur de paramètres pour conclure qu'en fin de croisement avec le « service 28 », le « service 63 » est encore à 190 mètres du point de collision. Le tramway croiseur « service 28 » ne masque donc pas la visibilité du conducteur du « service 63 » sur le « service 17 » arrêté en ligne.

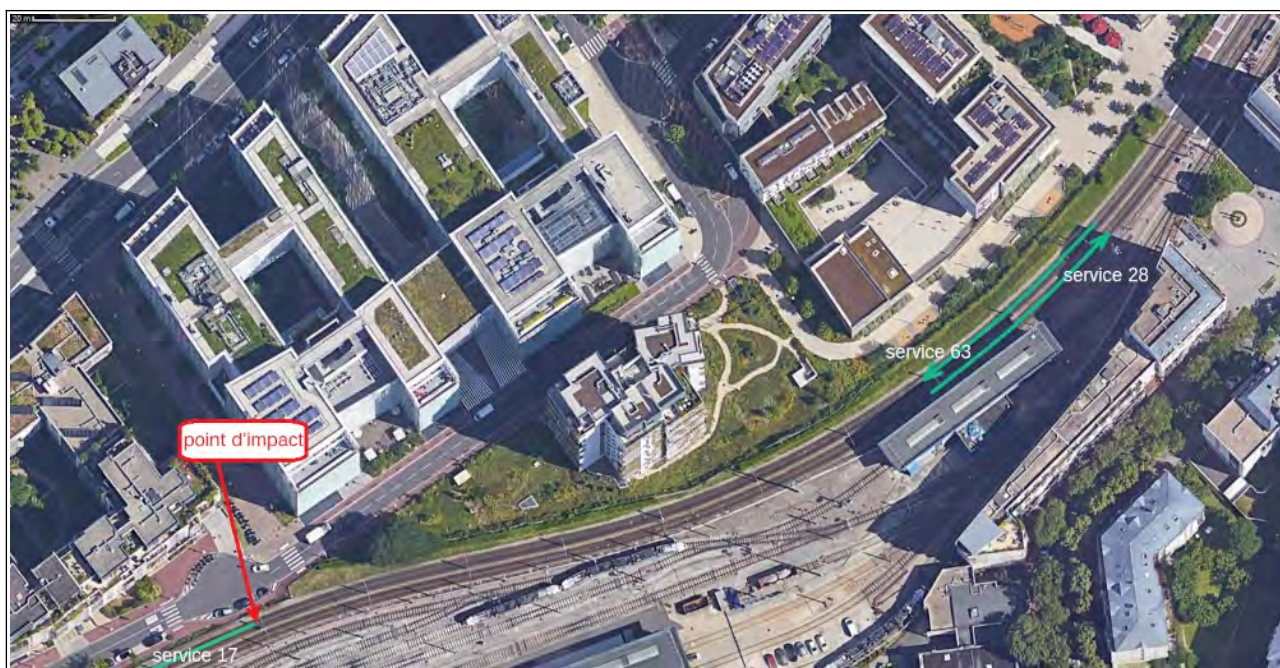


Figure 37 : lieu où la cabine avant du « service 63 » croise la cabine avant du « service 28 »

4.3.2 - La localisation du tramway « service 17 »

La localisation de l'arrière du tramway « service 17 » avant le choc a pu être déterminée grâce aux vidéos intérieures des rames, aux déclarations des témoins recueillies par la police et à la position finale des tramways après la collision : l'arrière du tramway « service 17 » avant le choc se situe après le feu « présence tension » situé en voie. La rame 434 est arrêtée au niveau du passage piéton du numéro 24 de la rue Champ Chardon.



Figure 38 : avant la collision, position du tramway « service 17 » à l'arrêt

Chaque tramway fait 66 mètres. La distance entre le feu S207 et la cabine avant du « service 17 » peut être mesurée comme faisant 117 mètres. Le conducteur du « service 17 » s'est arrêté au signal S207 allumé au jaune et ce, bien avant ce feu.



Figure 39 : avant le choc, positions du « service 2 » et du « service 17 » arrêtés en ligne, et sens d'arrivée du « service 63 »

Entre le S207 et l'arrière d'une rame arrêtée au droit du signal S205, il y a 120 mètres. Ajoutés aux 117 mètres, l'inter-distance des deux rames était donc de 237 mètres.



Figure 40 : localisation de S205 et S207

Le « service 17 » s'est arrêté relativement en amont du S207, en pleine ligne. Nous avons recherché les conditions qui ont conduit à cette situation et si celle-ci était amplificatrice des risques déjà générés par la rétention de rames à l'entrée du SMR.

Dans le règlement de sécurité de l'exploitation Tramway de la RATP, il est indiqué que :

- « le code des couleurs de la signalisation lumineuse est d'une manière générale :
- la couleur rouge pour l'arrêt, le tramway doit être immobilisé en amont du signal ;
 - la couleur jaune pour le passage avec une limitation de vitesse [...] ;
 - la couleur verte pour le passage. »

C'est bien le cas pour le signal S207 où le vert autorise la circulation et où le jaune autorise une circulation avec prudence, soit parce qu'un tramway se trouve entre le S207 et le quai 1 Les Moulineaux, soit parce que le signal S205 est fermé.

Selon le témoignage du conducteur du « service 17 », celui-ci respectait la règle fixant à 200 mètres l'espacement entre rames. Cette règle est donnée dans la consigne d'exploitation de la ligne T2 :

« 5.7 Distance entre les rames : En absence de signalisation, la distance minimale entre deux rames est de 200 mètres de la Porte de Versailles au Pont de Bezons. »

Cette règle ne s'applique donc pas en présence de signalisation (ferroviaire).

La surestimation de la distance d'arrêt (237 mètres pour 200 mètres) est liée au fait qu'évaluer 200 mètres sans prendre de repère est très peu précis. Les témoignages indiquent que les conducteurs de la RATP utilisent l'intervalle des poteaux de la ligne aérienne de contact pour évaluer cette distance : ils sont éloignés de 50 mètres en alignement, de 25 mètres en courbe. Ils comptent donc 5 poteaux ou bien 9 selon l'endroit.

Il apparaît donc que le conducteur du « service 17 » n'avait pas intégré l'annulation de la règle des 200 mètres en présence de signalisation ferroviaire et son estimation des distances a entraîné l'arrêt bien en amont du S207.

4.3.3 - La distance de visibilité du tramway tamponneur « service 63 »

Un guide technique, publié par le STRMTG en 2017, sur la « Sécurité des zones de manœuvre de tramways » traite entre autres de la sécurisation des configurations des systèmes tramway avec perte de visibilité à distance de freinage. Il définit les règles de distance de freinage et de visibilité à respecter.

La première visibilité qu'a pu avoir le conducteur du tramway « service 63 » sur l'arrière du tramway « service 17 » est illustrée par la vue aérienne ci-dessous.

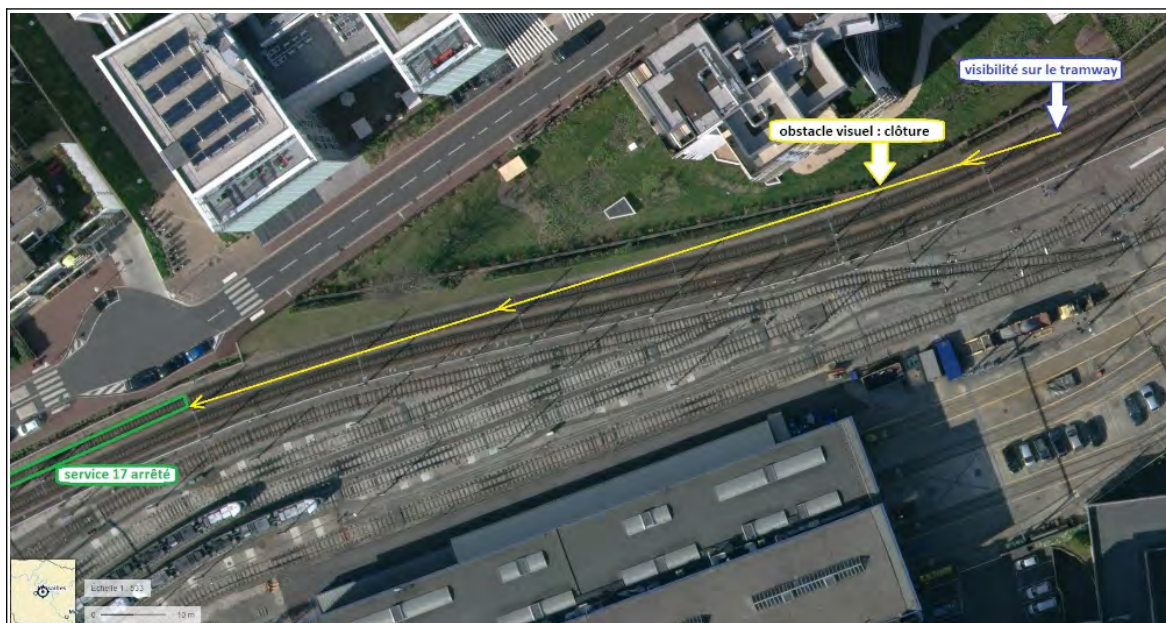


Figure 41 : position de l'arrière du « service 17 » arrêté en ligne et axe de visibilité sur le bord extérieur du « service 17 » depuis une rame suiveuse

Sur site, les enquêteurs judiciaires ont placé un cône de chantier, dit cône de Lübeck, sur le lieu de la collision pour représenter l'arrière du tramway percuté. À l'aide d'un odomètre et en parcourant la voie, ils ont mesuré la distance entre le point de collision et le point de première visibilité sur le cône : la distance de visibilité du « service 63 » vaut **150,5 mètres**.



Figure 42 : emplacement de la première visibilité sur le cône de Lübeck depuis la cabine d'un tramway tamponneur

La distance de visibilité du « service 63 » sur le « service 17 » était donc de 150,5 mètres. À cette distance de la collision, la limitation de vitesse est de 45 km/h. Étant donné qu'à 45 km/h il faut exactement 85 mètres pour s'arrêter selon le guide technique relatif à la sécurité des zones de manœuvre de tramway, la courbe est compatible avec la distance de freinage.

Nous remarquons que sur le parcours du « service 63 », la distance de visibilité est moindre en amont, dans la zone à 45 km/h, du fait de la présence d'une palissade et d'une haie le long de la voie et de l'habitat collectif. Nous mesurons cette distance de visibilité à 85 mètres. La réduction de la distance de visibilité est certainement la raison de la limitation de vitesse à 45 km/h dans cette zone. Ceci n'a toutefois pas de lien direct avec la collision.



Figure 43 : vérification de la visibilité à distance de freinage à respecter selon le guide technique relatif à la sécurité des zones de manœuvre de tramway

En récapitulatif, le tramway « service 63 » effectue le parcours suivant :

Distance avant impact	Horaire	Vitesse	Actions du tramway « service 63 »
298 m	21:00:27	0 km/h	Il démarre et sort de la station Jacques-Henri Lartigue. Il accélère et s'engage sur la courbe à droite.
278 m	21:00:33	24 km/h 6,66 m/s	Il passe le panneau de limitation à 45 km/h. Il poursuit son accélération.
190 m	21:00:42	39 km/h 10,83 m/s	La cabine avant du « service 63 » dépasse la cabine arrière du « service 28 ».
150,5 m	21:00:45	43 km/h 11,94 m/s	Il a la visibilité sur le « service 17 » arrêté en ligne.
124 m	21:00:47	45 km/h 12,5 m/s	Il passe le panneau de limitation à 60 km/h. Il continue son accélération.
28 m	21:00:54	57 km/h 15,83 m/s	Il freine 2 secondes avant la collision.
0 m	21:00:56	43 km/h 11,94 m/s	Il percute la cabine arrière du « service 17 ».

En considérant un temps de réaction de 2 secondes, la durée d'inattention, durée pendant laquelle le conducteur du « service 63 » peut voir mais ne perçoit pas l'arrière du « service 17 » arrêté, est de l'ordre de 7 secondes.

4.3.4 - La distance de freinage du tramway tamponneur

Le Freinage d'Urgence (FU) appliqué au manipulateur consiste à tirer le manipulateur en position extrême vers le bas, vers le conducteur.

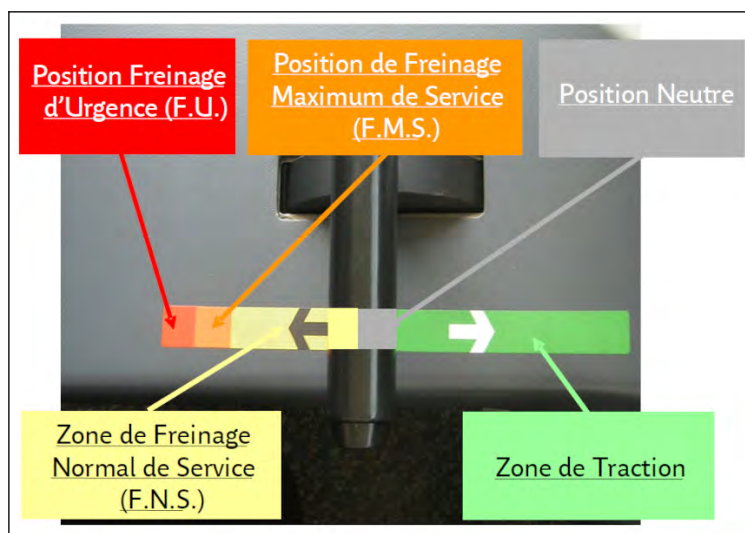


Figure 44 : positions du manipulateur (vue de dessus)

Le freinage d'urgence est assuré physiquement par trois types de freins sur la rame :

- le freinage électrique (qui agit sur les essieux moteurs) ;
- le freinage mécanique (qui agit sur les disques de frein sur toutes les roues) ;
- le freinage électromagnétique (qui agit sur les patins magnétiques se collant au rail et équipant chaque bogie).

Ces trois freinages opèrent simultanément. L'équipement d'anti-enrayage et la correction des efforts de freinage en fonction de la charge du véhicule sont actifs lors du freinage d'urgence.

Les vérifications sur le défaut de freinage de la 401 apparu en début de matinée le 11 février 2019

Le matin du 11 février 2019, jour de l'accident, un défaut est remonté au PCL sur la rame 401 (rame arrière du tramway tamponneur) lors de la préparation du tramway par le conducteur du matin. Il s'agit d'un défaut « desserrage frein » en motrice M1. Ce signalement est envoyé au service de maintenance du matériel roulant. La rame ayant été autorisée à sortir en exploitation, c'est à son retour au dépôt comme prévu le midi que le mainteneur la prend en charge pour effectuer les contrôles nécessaires.

À la prise en charge de la rame à l'atelier, l'IHM n'affichait aucun défaut frein et aucune commande d'isolement frein n'était déplombée⁷ dans les deux cabines de conduite. Lors du contrôle de la rame qui a suivi, le mainteneur a réalisé un relevé d'événements sur l'unité de traitement fonctionnel de l'IHM de la rame. Il a bien constaté un défaut frein sur la motrice M1 qui était apparu lors de la préparation le matin. Toutefois, ce défaut a

⁷ Certaines commandes rares sécuritaires sont dites « plombées », c'est-à-dire scellées par un fil spécifique et un plomb écrasé, afin d'assurer le verrouillage de la commande et la traçabilité de son usage.

disparu lors d'une dé-préparation partielle réalisée à la suite. Le mainteneur a contrôlé les niveaux d'azote et d'huile de la centrale hydraulique de M1 sans constater d'anomalie, puis il a réalisé des essais statiques qui consistent à desserrer et serrer les freins tout en étant à l'arrêt. Ces essais étaient satisfaisants, tout comme l'ont été les essais dynamiques de freinage sur le remisage qui ont suivi. Enfin, le mainteneur a consulté l'historique de la rame via leur outil informatique sur une période d'un an : aucun défaut frein n'a été identifié.

Suite à tous ces contrôles, la rame 401 a été rendue bonne à l'exploitant à 12 h 45, puis elle a été remise en exploitation commerciale.

La vérification des performances de freinage durant la maintenance des rames

Avant la mise en service de la ligne T2 en 2002, des essais de validation des performances dynamiques du système de freinage des véhicules ont été conduits, conformément au programme de validation des performances dynamiques contractuelles de freinage réalisé sur tout nouveau matériel. La rame 401 était la rame « tête de série » sur la ligne T2 : les essais dynamiques de vérification des performances de freinage ont été menés sur cette rame. Les performances dynamiques attendues du freinage en charge normale et maximale, et ce jusqu'à la vitesse maximale de 70 km/h, étaient respectées. Il se trouve que cette rame est la rame en queue du « service 63 » le jour de l'accident.

À la suite des essais sur la rame 401, l'ensemble des rames en circulation sur la ligne ont subi des essais dits « de conformité à la rame tête de série » afin de permettre leur mise en exploitation.

Puis, périodiquement, la RATP vérifie à une vitesse de 40 ± 3 km/h les capacités de freinage de ses tramways au cours de leur vie. Les distances d'arrêt sont mesurées et doivent être inférieures à 25 mètres. Pour les rames composant le tramway « service 63 », les résultats des contrôles de la rame 401 le 19 décembre 2018 et de la rame 416 le 20 décembre 2018 étaient satisfaisants.

La norme NF EN 13452 relative aux systèmes de freinage des transports publics urbains et suburbains donne la formule suivante de calcul de distance de freinage :

$$s = v_0 \times t_e + \frac{v_0^2}{2a_e}$$

où :

s	distance, en m ;
v_0	vitesse initiale, en m/s ;
t_e	temps de réponse équivalent, en s ;
a_e	décélération équivalente, en m/s ² .

Figure 45 : extrait de la norme NF EN 13452-1

Le temps de réponse équivalent t_e traduit le temps que met le freinage à s'établir une fois la commande passée⁸. Il est pris égal à 0,85 secondes dans le cas d'un freinage d'urgence. La décélération équivalente a_e donnée par la norme est de 2,8 m/s² pour le freinage d'urgence.

⁸ Le temps de réponse équivalent se calcule de la sorte : $t_e = (t_{10} + t_{90})/2$, avec t_{10} représentant le temps mis pour atteindre 10 % de la décélération « établie » et t_{90} le temps mis pour atteindre 90 % de cette décélération. C'est le temps de réaction « machine ».

Ainsi, la distance attendue de freinage doit être inférieure à la valeur minimale donnée par le calcul ci-dessous. Elle est vérifiée, le test étant réalisé à 40 ± 3 km/h, avec la vitesse la plus faible acceptée par la RATP dans son essai, c'est-à-dire 37 km/h, soit 10,27 m/s.

➤ Distance attendue par la norme = $10,27 \times 0,85 + 10,27^2 / (2 \times 2,8) = 27,56$ mètres.

La distance-objectif de 25 mètres prise par la RATP est inférieure à celle obtenue par la norme et est donc conforme à la norme.

La performance de freinage réelle du tramway tamponneur lors de l'accident

Les données de l'enregistreur de paramètres de la rame 416 du « service 63 » permettent de vérifier la valeur de la décélération réelle du tramway tamponneur.

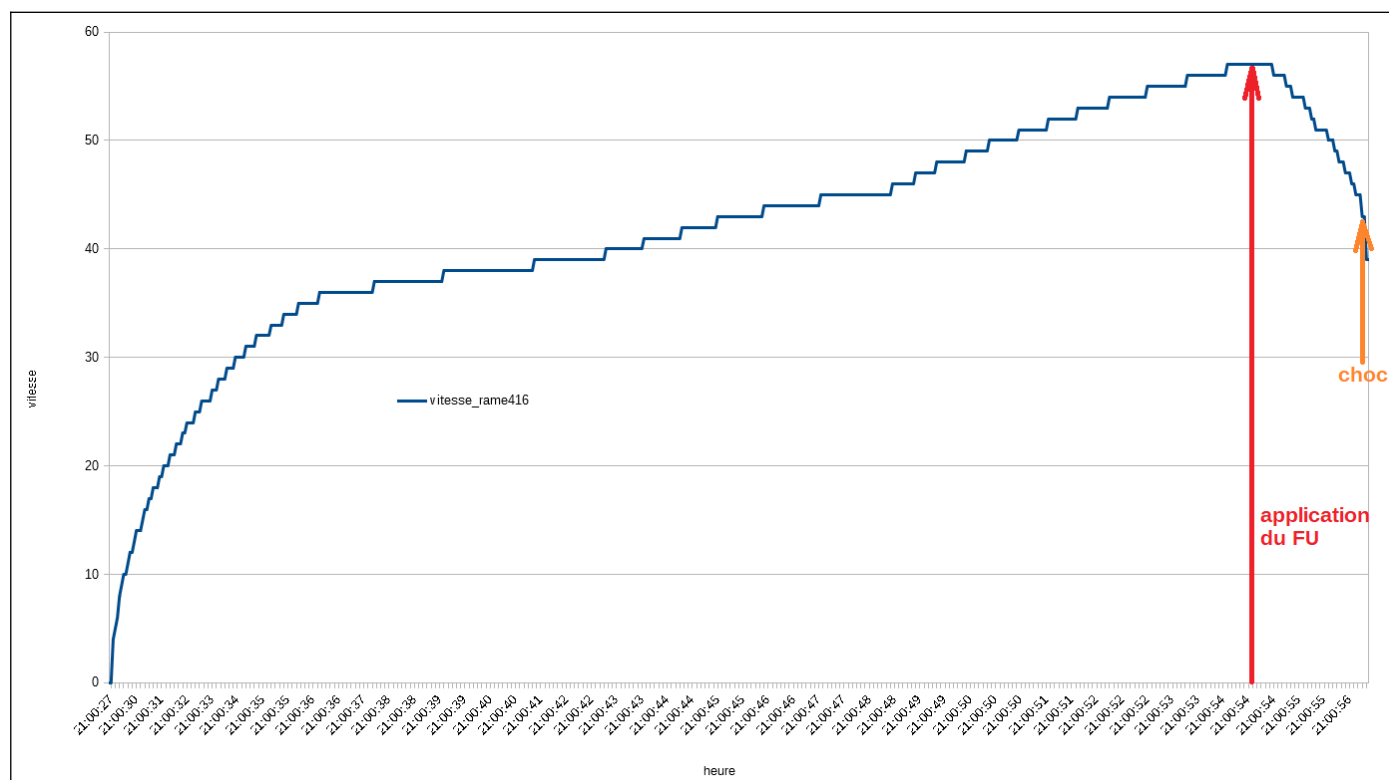


Figure 46 : graphe de la vitesse de la rame 416 en fonction du temps, depuis la station Jacques-Henri Lartigue jusqu'à la collision (données de l'enregistreur de paramètres)

Étant donné que le freinage d'urgence complet a eu lieu sur une faible durée (2 secondes), on obtient par le calcul une décélération de l'ordre de $1,9 \text{ m/s}^2$ ⁹. La décélération calculée est plus faible que la décélération stabilisée attendue de 3 m/s^2 . Ceci est cependant cohérent avec le principe de stabilisation de la décélération conformément à la norme : la décélération d'un véhicule n'est pas constante mais progressive pour atteindre une décélération établie. En deux secondes, le tramway n'a pas encore atteint sa décélération établie.

Il est tout de même possible de vérifier si les capacités de freinage du tramway « service 63 » sont conformes aux capacités de freinage attendues. En effet, la RATP possède le graphe de décélération d'une autre rame, en bon état de fonctionnement, conforme à la norme NF EN 13452 et au référentiel RATP, afin de vérifier la similarité ou

⁹ Selon l'enregistreur de paramètres, le début de l'application du FU commence à 21:00:54 à une vitesse de 57 km/h soit 15,83 m/s. La fin de l'application du FU a lieu à 21:00:56 et à 43 km/h soit 11,94 m/s. Le calcul de la décélération donne donc $a = (15,83 - 11,94) / (21:00:56 - 21:00:54) = 3,89 / 2 = 1,95 \text{ m/s}^2$

non des courbes dans les premières secondes de freinage. La comparaison est donnée sur la figure ci-après.

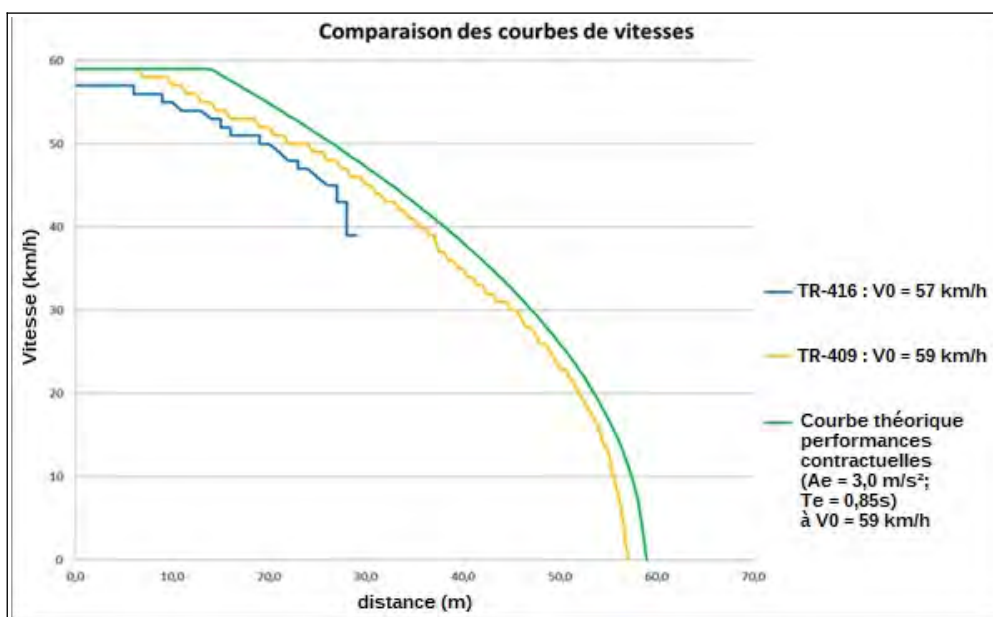


Figure 47 : comparaison des courbes de vitesses de la rame accidentée 416, d'une rame conforme (rame 409) et des performances théoriques d'un FU à 59 km/h

Le début des courbes des freinages des deux rames sont similaires, bien que les vitesses initiales soient décalées de 2 km/h. La chute finale brutale pour la rame 416 est une conséquence de la collision.

La décélération de la rame 416 est donc similaire à la décélération d'une rame en bon état de fonctionnement et conforme aux attendus par la norme NF EN 13452.

En conclusion, conformément aux vérifications effectuées au cours de la maintenance, malgré une alerte sur le système de freinage sans effet avéré, avec la contrainte d'une courte durée d'application du FU, il s'avère que **les performances de freinage d'urgence du tramway « service 63 » ont été satisfaisantes.**

L'évaluation a posteriori des distances de freinage

Nous avons constaté que le freinage d'urgence du tramway « service 63 » est conforme à une décélération de 3 m/s². La formule mathématique donnée par la norme NF EN 13452 permet de calculer la distance de freinage nécessaire pour s'arrêter, en connaissant la décélération et la vitesse au début du freinage. Au temps de réaction « machine », il convient de rajouter la distance parcourue pendant le temps de réaction du conducteur (t_r) : nous prendrons donc un temps usuel égal à $t = t_e + t_r = 1,5$ secondes.

La distance nécessaire pour que le tramway s'arrête en freinage d'urgence (décélération de 3 m/s²) avec la vitesse initiale de 57 km/h, c'est-à-dire 15,83 m/s :

➤ Distance = $15,83 \times 1,5 + 15,83^2 / (2 \times 3) = \mathbf{65,51 \text{ mètres}}$

Toutefois, si on considère que le conducteur a raisonnablement eu besoin d'une seconde supplémentaire pour comprendre l'événement inattendu devant lui, alors :

➤ Distance = $15,83 \times (1,5 + 1) + 15,83^2 / (2 \times 3) = \mathbf{81,34 \text{ mètres}}$

Ces valeurs sont toutes inférieures à la distance de visibilité de 150,5 mètres dont le conducteur disposait devant lui.

Pour être encore plus précis, quand le tramway est à 81 mètres de celui qui le précède, il n'est pas à sa vitesse maximale de 57 km/h. En effet, la vitesse dans cette zone est d'abord limitée à 45 km/h puis à 60 km/h.

Le TIV60 est à 154 mètres après le TIV45, et à 106 mètres avant le lieu de la collision. Le conducteur n'avait pas encore augmenté sa vitesse quand il passe le TIV60, il était à 45 km/h. Quand le conducteur a la visibilité sur le tramway arrêté devant lui, c'est-à-dire à 150,5 mètres devant lui, il est à 43 km/h.

De plus, en évaluant le couple « distance du choc & vitesse » selon les vitesses données dans l'enregistreur de paramètres, le BEA-TT estime que **le dernier moment pour s'arrêter est à 70,88 mètres du choc, le tramway étant à 52 km/h**. À 52 km/h c'est-à-dire 14,44 m/s, la distance d'arrêt = $14,44 \times (1,5+1) + 14,44^2 / (2 \times 3) = 70,88$ mètres.

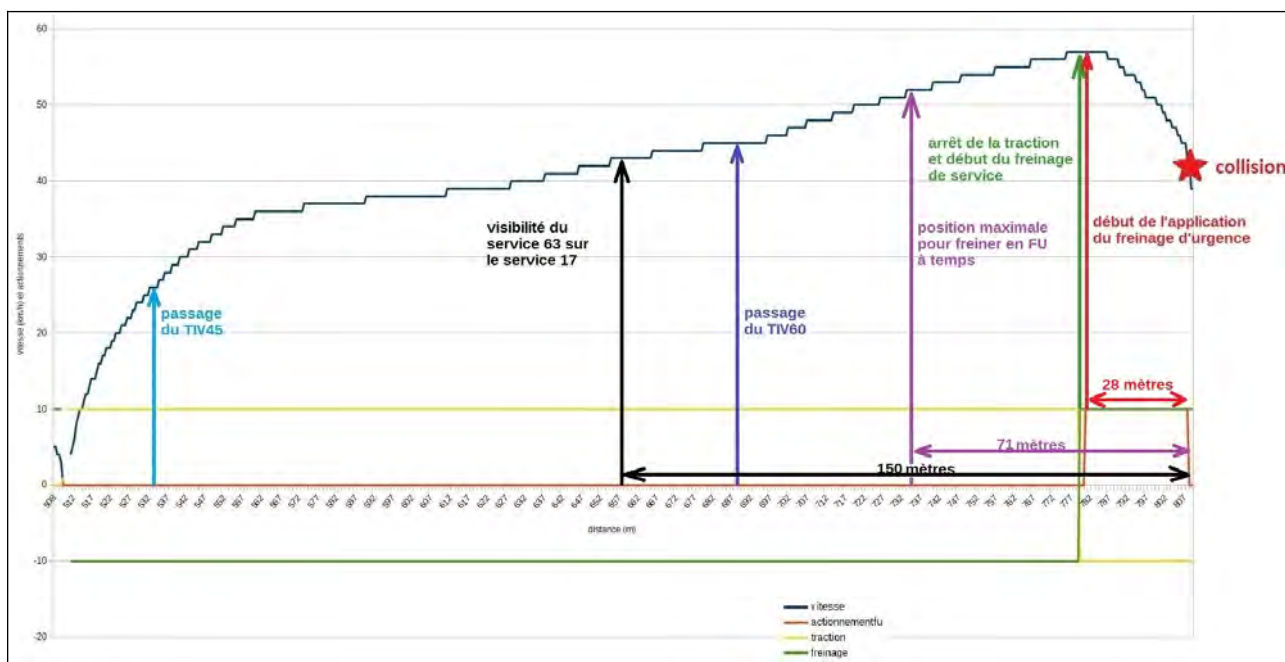


Figure 48 : événements survenus du départ de la station Jacques-Henri Lartigue jusqu'à la collision



Figure 49 : emplacement du TIV60 par rapport au début de la visibilité sur le tramway arrêté en ligne et localisation du dernier endroit où le conducteur pouvait s'arrêter sans collision

La reconstitution sur le site

Dans le cadre de sa propre enquête, la RATP a reconstitué in situ la position du tramway percuté et la position du tramway tamponneur au moment où ce dernier commence à avoir la visibilité sur le tramway arrêté en ligne. La remise en situation a été faite au même endroit et dans les mêmes conditions (nuit, temps sec).

Il est constaté que le visuel depuis une cabine est complet sur la rame en aval à 148 mètres avant la collision. La distance de visibilité a été mesurée avec un dérouleur sur le rail de roulement entre le point de visibilité et la rame simulant la position de la rame tamponnée. Cette valeur est similaire aux 150,5 mètres mesurés précédemment.

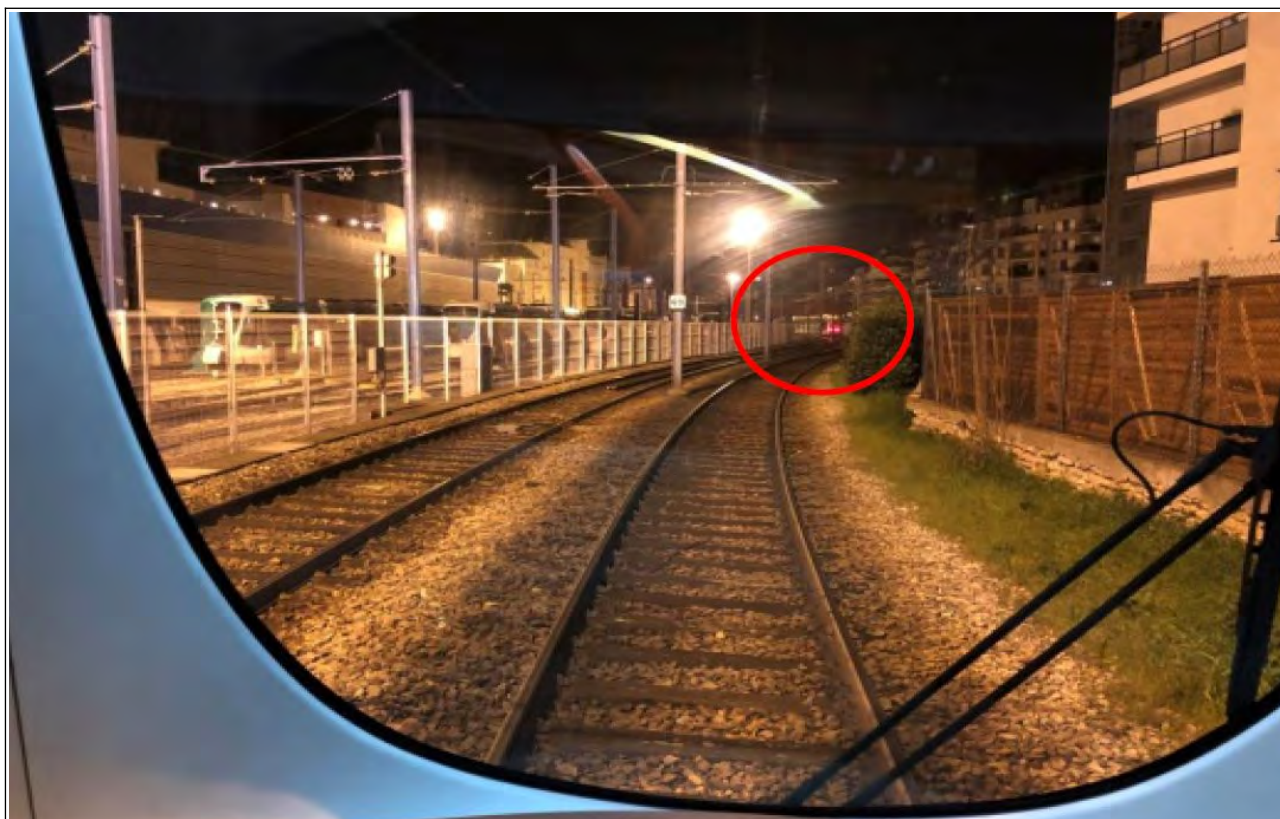


Figure 50 : reconstitution RATP, de nuit, avec localisation du premier visuel complet depuis la cabine d'un tramway suiveur sur un tramway immobilisé à l'emplacement du « service 17 » (11 secondes avant la collision)

Puis avançant au droit du TIV60, à 106 mètres du point de collision, la RATP a photographié le visuel obtenu depuis la cabine sur la rame arrêtée en aval, ainsi que le visuel au moment du déclenchement FU, soit 28 mètres avant la collision.

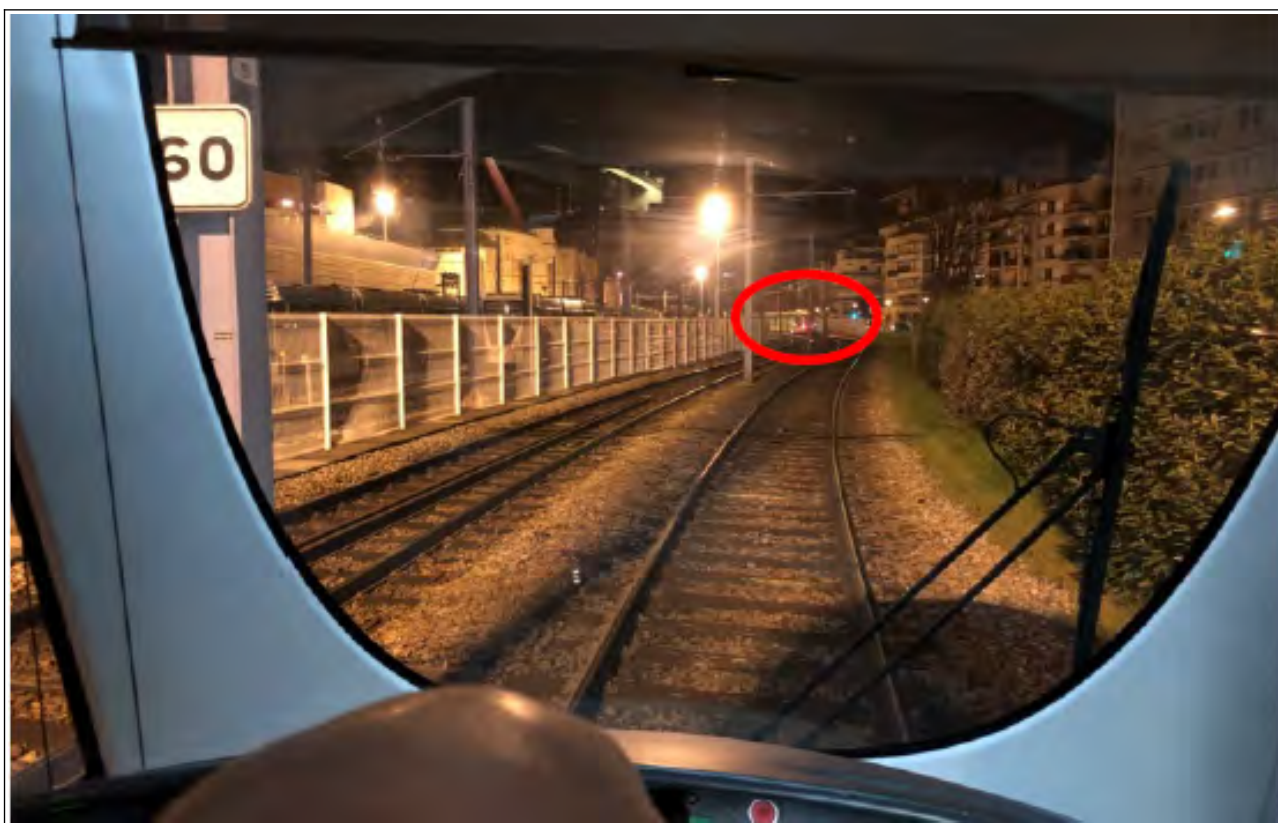


Figure 51 : perception de nuit depuis la cabine d'un tramway au droit du TIV 60, soit 122 mètres avant collision (9 secondes avant la collision)



Figure 52 : visuel au moment du déclenchement FU, soit 28 mètres avant collision (2 secondes avant la collision)

4.4 - Le retour d'expérience sur ce type d'événement

Nous allons étudier les rattrapages ayant eu précédemment lieu sur T2, sur le réseau de la RATP, sur d'autres réseaux en France, dont des enquêtes menées par le BEA-TT.

4.4.1 - L'accidentologie sur le T2 et sur la zone de la collision

Le nombre de collisions de tramway et d'évènements voyageurs est en baisse sur la ligne T2 depuis 2016. En 2018, le nombre de collisions avec tiers sur cette ligne est de 1,63 pour 100 000 kilomètres commerciaux¹⁰ réalisés alors qu'il est de 1,73 pour 100 000 km pour l'ensemble des lignes de tramway de la RATP.

Certains secteurs de T2 sont identifiés comme plus accidentogènes que d'autres. Le secteur du SMR des Moulineaux n'en fait pas partie : quelques accidents ont été recensés entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux. Ces accidents n'ont pas de similitude avec la collision du 11 février 2019 : il s'agit de chutes de voyageurs sur le quai ou dans la rame (seul ou suite à freinage d'urgence) et d'une collision avec un deux roues sur le passage piéton en sortie de station Jacques-Henri Lartigue.

La RATP recense également les freinages d'urgence enclenchés au manipulateur, sur la base des déclarations des conducteurs. C'est une pratique courante et encouragée dans les réseaux français de tramways pour collecter des informations sur les quasi-accidents. Elle permet une analyse plus exhaustive. Des freinages d'urgence ont été recensés entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux. La majorité a une cause externe (piéton, voyageur, cycliste). Seuls deux cas de freinages d'urgence ont eu lieu à proximité du SMR et correspondent tous deux à une crainte qu'ont eu des conducteurs par rapport à une collision supposée avec un autre tramway sortant du SMR : en effet lors d'une injection, les rames en V1 voient directement arriver en face d'elles les rames injectées depuis le SMR, mais évidemment sans qu'il n'y ait de croisement de leurs itinéraires.

La zone de la collision ne présentait donc pas d'accidentologie particulière.

4.4.2 - L'accidentologie par rattrapage sur l'ensemble du réseau parisien RATP

Des collisions par rattrapage ont déjà eu lieu sur le réseau de tramways de la RATP. Les trois cas exposés ici ont eu lieu sur la ligne T1.

➤ Un rattrapage à faible vitesse entre deux tramways a eu lieu le 5 novembre 2015. À la station Mairie de Villeneuve-la-Garenne, un tramway qui se trouvait à l'arrêt et sans voyageur est rattrapé par le tramway suivant. Les deux tramways sont endommagés par la collision. Il n'y a pas eu de voyageur blessé. Le conducteur du tramway tamponneur n'a pas respecté l'inter-distance minimale réglementaire de 100 mètres entre tramways (en vigueur sur cette ligne) et il a choisi d'utiliser les patins magnétiques et de sabler le rail pour freiner. La collision a eu lieu à 6 km/h.

Un engin de maintenance, appelé rail-route, était passé 20 minutes auparavant. Le rail était resté propre et aucune perte d'adhérence n'avait été constatée : la glissance du rail n'était donc pas en cause. Les conclusions de la RATP indiquent « *une transgression volontaire de la règle dans l'intérêt du service et selon l'interprétation propre au conducteur* » concernant la distance de sécurité. Puis le conducteur a commis une autre transgression volontaire de la règle en n'utilisant pas le frein d'urgence, selon lui pour éviter des chutes de voyageurs dans sa rame, et donc dans l'intérêt du service. La RATP a rédigé une note de service à l'attention des agents de conduite de la ligne T1 sur la nécessité de respecter la consigne de distance minimale de 100 mètres entre

10 Kilomètres parcourus dédiés aux déplacements des usagers.

deux rames. Cette consigne a été rappelée systématiquement par les régulateurs auprès des machinistes pendant une semaine.

Les deux autres événements concernent chacun une collision entre une rame de tramway et un rail-route de nettoyage :

- Le premier rattrapage a eu lieu en juin 2017 à la tombée de la nuit, en exploitation, dans une courbe et avec une vitesse inférieure au maximum autorisé. Le conducteur a appliqué le FU à 43 km/h et la collision a eu lieu à 19 km/h. Ce rattrapage a fait 3 blessés légers (le conducteur du rail-route, son équipier et le conducteur du tramway).

Un appel général du PCL avait été passé. Le gyrophare du rail-route était en fonctionnement. Les performances de freinage de la rame avaient été contrôlées un mois auparavant et étaient conformes au référentiel RATP. Les conclusions de la RATP indiquent un « *non-respect de la marche à vue* » par le conducteur de tramway. Un rappel aux régulateurs du tramway T1 et un rappel du principe de marche à vue en formation continue « Tram+ » de T1 ont été réalisés. En cas d'incidents majeurs, de tels rappels sont inscrits à l'ordre du jour des sessions « Tram+ » : cette formation est transversale. Par conséquent, toute la population des conducteurs de tramway de la RATP a fait l'objet du rappel. Localement, une information peut être réalisée spécifiquement à l'équipe concernée, dans ce cas par les régulateurs du T1.

- Le second rattrapage a eu lieu en novembre 2017, au matin, en exploitation, en alignement. Le conducteur conduisait avec un contre-jour et il respectait la vitesse maximale. Il a appliqué le FU à 35 km/h, la collision a eu lieu à 5 km/h. Ce rattrapage a fait 2 blessés légers (le conducteur du tramway et un voyageur).

Le conducteur du rail-route n'avait pas donné d'information au PCL sur le début de son intervention sur la voie. Le PCL n'avait donc pas pu alerter les conducteurs de tramway. Les performances de la rame concernée avaient été vérifiées un mois auparavant et étaient conformes au référentiel RATP. Les conclusions de l'analyse de l'accident indiquent un « *non-respect de la marche à vue* » et demandent de mieux signaler les interventions sur la voie par les prestataires et le PCL.

En conclusion, ces trois événements de rattrapage rappellent que, si la conduite à vue est un principe fondamental de la conduite des tramways, son non-respect est souvent la première cause retenue en cas d'accident.

4.4.3 - L'accidentologie par rattrapage en France

D'après les données transmises par le STRMTG issues de la base de données nationale sur les événements de l'ensemble des réseaux français de tramway, les rattrapages ayant eu lieu dans des conditions similaires (réseaux hors RATP, en exploitation, en ligne, conducteur conscient) sont les suivants (les lieux des accidents sont anonymisés) :

- En 2017, une rame est arrêtée à quai. La rame qui la suit freine mais insuffisamment et vient la percuter par l'arrière à 11 km/h. La voie est en courbe avant la station. Dans l'analyse, deux hypothèses sont avancées par l'exploitant : une erreur du conducteur (mauvaise appréciation des distances, inattention, distraction) ou un malaise de ce dernier.
- En 2015, une rame arrêtée inopinément en ligne à cause d'un obstacle sur la voie est percutée par l'arrière à 12 km/h par une autre rame qui n'a pas ralenti.
- En 2014, une rame est venue percuter par l'arrière une autre rame qui stationne à quai en terminus. Le conducteur n'était pas attentif à la conduite au moment des faits, il a maintenu la traction sans aucune action de freinage jusqu'à la collision avec la rame située devant lui, à 13 km/h.

- En 2012, une rame est venue percuter par l'arrière une autre rame qui stationne à quai en station, à 15 km/h. La voie est en courbe. L'origine de l'incident est une erreur de conduite avec un non-respect de la conduite à vue.
- La collision entre deux rames de tramway survenue à Rouen le 30 août 2004¹¹ a déclenché l'ouverture d'une enquête par le BEA-TT. Il s'agit d'un rattrapage, en tunnel et en interstation, qui a causé un blessé grave et sept blessés légers, ainsi que des dégâts matériels conséquents sur les deux rames impliquées. La cause à l'origine de l'accident est humaine. L'hypothèse d'un malaise brutal a été étudiée dans un premier temps et a laissé place à l'hypothèse beaucoup plus probable d'une hypovigilance du conducteur consécutive à un début de somnolence. De nombreuses recommandations ont été principalement destinées à l'exploitant et l'autorité organisatrice de la mobilité de Rouen. Les conditions sont très différentes de la collision sur T2 le 11 février 2019, avec des problématiques de tunnel, d'incendie et de suivi médical du conducteur.
- La collision par rattrapage de deux rames de tramway survenue à Montpellier le 2 décembre 2019. Une enquête du BEA-TT est en cours à l'heure où ce rapport est publié.
- D'autres rattrapages ont eu lieu à très faibles vitesses (<10 km/h), la majorité d'entre eux est due à une mauvaise estimation de la vitesse et de la distance par le conducteur du tramway tamponneur.

En résumé, on compte quelques rattrapages entre tramways en France, et la marche à vue est souvent la cause identifiée par l'exploitant.

4.5 - La vigilance du conducteur

4.5.1 - La visibilité sur l'information de la vitesse du tramway

Différents témoignages recueillis par le BEA-TT indiquent une pression sur le personnel d'exploitation par rapport à la régularité, notamment les jours comptant pour le calcul de la régularité vis-à-vis de l'autorité organisatrice et durant lesquels le management effectue des contrôles. La fréquence commerciale de la ligne T2 est élevée avec 3 minutes 30 secondes en heure de pointe. Aller moins vite que le reste du carrousel implique la création de bouchons derrière soi.

Le conducteur du tramway tamponneur a déclaré être en train d'observer sa vitesse dans la séquence qui a précédé l'accident. Nous avons donc analysé la manière dont son attention était mobilisée pour cela.

De façon générale, la vitesse de la rame peut être lue par le conducteur depuis :

- le tachymètre (cadran indiquant la vitesse). La vitesse indiquée sur le tachymètre est la seule information sécuritaire ;
- l'affichage de la vitesse sur l'écran de l'interface homme-machine (IHM).

Figure 53 : partie gauche du pupitre de conduite d'un Citadis 302 de la ligne T2



11 Rapport d'enquête technique BEA-TT n° 2004-007 sur la collision entre deux rames de tramway survenue à Rouen le 30 août 2004. Le rapport est consultable sur le site internet du BEA-TT.

Les rames de T2 ont été livrées en 2002, 2004 et entre 2009 et 2012¹², au fur et à mesure du renforcement de l'offre commerciale. Depuis ces dates, un guide technique « Sécurité des Postes de Conduite des Tramways » a été publié par le STRMTG, en 2012 avec une mise à jour en 2015. Le guide a pour objectif de définir des préconisations en lien avec la sécurité pour la conception des postes de conduite des tramways. Il est applicable à tout nouveau matériel roulant de tramway sur fer ou pneus ainsi qu'aux tram-trains dès lors qu'ils sont amenés à circuler dans un environnement urbain au même titre qu'un tramway. Pour les systèmes en service, il n'est pas demandé de mise en conformité systématique. Le cas échéant, les modifications substantielles d'un système existant portant sur le matériel roulant sont traitées au cas par cas. Dans le cadre de rénovation de matériel roulant, bien que le guide ne soit pas applicable, il est proposé de s'inspirer de ses exigences. Le tramway Citadis 302 de T2 n'a pas subi de rénovation, uniquement des modifications non substantielles. Dans le cas du tramway Citadis sur T2, le guide n'est pas applicable.

Un sous-chapitre du guide « Sécurité des Postes de Conduite des Tramways » est dédié au thème du champ de vision extérieur du conducteur. Les objectifs de sécurité à respecter et les risques qui y sont associés sont ainsi définis :

« Un bon champ de vision extérieur lointain permet au conducteur d'anticiper par rapport à l'environnement extérieur lorsque le tramway est en mouvement.

- *Permettre à tout conducteur de voir les signaux qui lui sont destinés le plus en amont possible : risque de collision.*
- *Permettre à tout conducteur d'anticiper, de détecter un danger en :*
 - *ouvrant son champ de vision latéral en prenant en compte les contraintes techniques et les données d'entrée physiologiques (utilisation du champ de vision binoculaire)*
 - *limitant les zones masquées. »*

Un autre sous-chapitre du guide traite du champ de vision intérieur, champ de vision permettant lors de la conduite de donner des informations aux conducteurs. Les sources d'information sont : le tachymètre, le signal d'alarme voyageur, l'interphonie voyageur, le signalement des défauts. Les objectifs de sécurité à respecter et les risques qui y sont associés sont ainsi définis : «

- *Permettre à tout conducteur d'estimer sa vitesse vis-à-vis des contraintes techniques et environnementales : risque de déraillement par survitesse ou risque de collision.*
- *Permettre à tout conducteur d'avoir accès aux informations le plus rapidement possible et sans mouvement de la tête en limitant le temps où le conducteur quitte des yeux son environnement extérieur : risque de collision. »*

Des règles d'implantation sont données, chiffrées et illustrées.

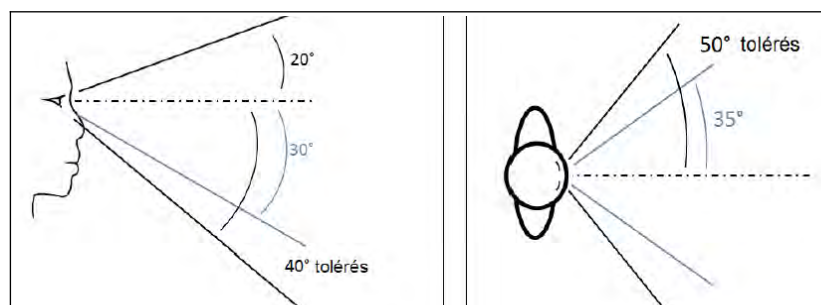


Figure 54 : champ de vision en plan vertical et en plan horizontal

12 Six rames supplémentaires ont été fournies à la RATP en 2015 dans le cadre du renfort de l'offre commerciale de T2 pour apporter 3 unités multiples supplémentaires dans le cadre d'un avenant au contrat initial (affermisssement d'une tranche conditionnelle).

Sans entrer dans des mesures précises et complexes des angles de vision extérieur et intérieur, nous constatons que la visibilité sur la voie devant le conducteur, ainsi que sur l'indicateur de vitesse, ne soulèvent pas de difficulté particulière sur le matériel du T2. Le BEA-TT observe que le tachymètre est légèrement décalé sur la gauche : la lecture sur le tachymètre n'offre pas une visibilité optimale, tout en restant dans le champ intérieur toléré.

Toutefois, en dehors des stations, les conducteurs peuvent se référer à la vitesse du tramway reprise sur l'IHM qui est donnée par un affichage numérique de grosse taille, dans le bon champ de vision.



Figure 55 : vue sur le poste de conduite
(tachymètre à gauche, IHM au centre)

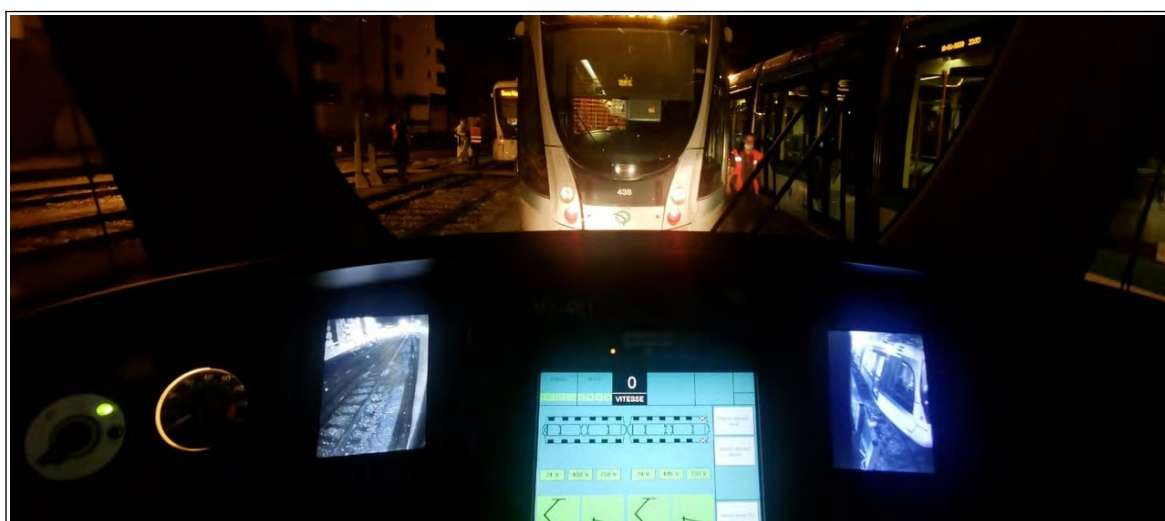


Figure 56 : vue sur le poste de conduite de nuit, ici à l'arrêt

Quel que soit l'écran de lecture, la vision disponible n'est pas limitante pour la conduite à vue. Le conducteur a focalisé son attention sur l'atteinte de la vitesse comme nous le verrons dans le paragraphe suivant.

4.5.2 - La vigilance, l'attention et les facteurs cognitifs en situation de conduite

La durée pendant laquelle le conducteur du « service 63 » peut voir mais ne perçoit pas l'arrière du « service 17 » arrêté, est de l'ordre de 7 secondes.

Sur une ligne dont l'exploitation est portée au maximum de la capacité, le conducteur du tramway tamponneur déclare avoir porté une grande attention à l'atteinte de sa vitesse

maximale en surveillant l'indicateur de vitesse. Il déclare également s'être aussi préoccupé de ses prochaines tâches, à savoir si au terminus Pont de Bezons il devait garer son tramway ou bien en conduire un autre. Nous ajoutons qu'il venait de quitter la partie urbaine trois stations plus tôt (Suzanne Lenglen) pour circuler sur la zone historique, dans un environnement en apparence sécurisé (absence de véhicules, peu de piétons ou cycles) où un relâchement de l'attention sur les événements extérieurs peut s'installer. Enfin, il va être confronté à une situation à laquelle il ne s'attend pas, à savoir des bouchons et une rame arrêtée en ligne très proche de la station qu'il quitte.

Avant toute chose, une distinction s'impose entre les notions de vigilance et d'attention. Selon le rapport du Conseil National de la Sécurité Routière – Comité des experts intitulé « Les défaillances d'attention en conduite », la **vigilance**¹³ représente la capacité de l'individu à maintenir un niveau d'éveil de son système nerveux central qui le rend apte à accomplir l'activité qu'il réalise, à l'opposé de la somnolence ou de l'endormissement.

Tandis que l'**attention** représente la capacité de l'individu à centrer son activité mentale sur un objet donné, à orienter plus ou moins intensément son esprit sur tel ou tel aspect de la situation. Elle qualifie des processus psychologiques (cognitifs) qui vont répartir les ressources mentales disponibles sur les différentes composantes de l'activité. Ces processus sont qualifiés de « spécifiques » au sens où – à la différence de la vigilance – on fait attention à quelque chose en particulier, et bien souvent au détriment d'autre chose, du fait des limites de nos ressources attentionnelles. C'est cette orientation spécifique qui doit permettre au cerveau de traiter l'information qui nous est utile pour l'activité que l'on cherche à réaliser et pour les objectifs que l'on cherche à atteindre. Ainsi, l'attention constitue un réservoir de ressources limitées que l'individu doit répartir de façon satisfaisante sur les différentes composantes de son activité et les paramètres pertinents de son environnement sous peine d'échouer dans son objectif.

Au sein de la notion d'attention, en situation de conduite, le rapport du CNSR distingue :

- l'**inattention** à la conduite, qui caractérise une affectation insuffisante de ressources attentionnelles à cette activité pour pouvoir l'accomplir de manière sûre ;
- la **distraction par une activité annexe**, qui caractérise un détournement de l'attention vers un élément ou un événement sans lien avec la tâche de conduite, au détriment des activités cruciales pour une conduite sûre, que ce soit sur le plan des fonctions perceptives, cognitives ou motrices. Il y a quatre catégories de distraction : visuelle, manuelle, cognitive et auditive ;
- la **compétition d'attention entre sous-tâches de conduite**, qui caractérise la concurrence entre plusieurs éléments, événements ou activités qui sont tous liés à la conduite et dont l'un va être privilégié au détriment d'un autre. Une trop forte affectation des ressources d'attention sur une composante de l'activité au détriment d'un élément critique pour la sécurité résultera en un défaut d'attention, tel qu'une « compétition d'attention » pour un surinvestissement d'une sous-tâche de conduite au détriment d'une autre.

Selon le rapport du CNSR, le conducteur doit allouer efficacement ses ressources mentales aux différentes composantes de sa tâche, mais sans mobiliser à chaque instant toute son attention, de façon à conserver une réserve attentionnelle nécessaire pour permettre l'adaptation à des informations nouvelles et inattendues. En effet, les ressources d'attention de l'individu sont limitées et la surcharge attentionnelle aura pour conséquence une plus grande difficulté, voire une incapacité, à intégrer une information supplémentaire, aussi essentielle soit-elle (compétition d'attention). À l'inverse, une affectation insuffisante des ressources d'attention à l'activité de conduite, soit qu'elles sont consacrées à une autre activité (distraction), soit que le conducteur s'appuie trop

13 Rapport du Conseil National de la Sécurité Routière (CNSR) – Comité des experts intitulé « Les défaillances d'attention en conduite », Mars 2016.

fortement sur ses automatismes (inattention), aura également des conséquences négatives sur la réalisation de cette tâche, notamment par une capacité amoindrie à détecter une information parfois capitale pour la sécurité.

S'engager dans une deuxième tâche, dite secondaire, lorsque l'on est déjà impliqué dans une première tâche, dite principale, constitue une source de « compétition » d'attention : des activités annexes mobilisent l'attention du conducteur au détriment de l'attention portée à l'activité de conduite.

Ainsi dans le cas du conducteur du tramway tamponneur, nous constatons une compétition d'attention entre sous-tâches de conduite dans un contexte de sollicitations moindres : la surveillance de la vitesse du tramway pour répondre aux exigences d'une ligne exploitée au maximum, à laquelle s'ajoute l'élaboration mentale de scénarios quant à la fin de son parcours. Son attention se porte sur ces deux composantes de conduite, au détriment de l'élément critique pour la sécurité à savoir **la vision devant sa rame et la recherche de l'obstacle devant lui**.

Le conducteur a mis en œuvre des automatismes, des habitudes sur la tâche principale de conduite.

L'absence de réaction du conducteur au geste de la main du conducteur croisé conforte cette analyse que la concentration du conducteur est placée ailleurs que dans la recherche d'information devant lui.

De même, la possibilité évoquée plus haut que le conducteur n'ait pas entendu l'appel général du PCL, passé avant qu'il ne quitte la station Jacques-Henri Lartigue, pourrait également correspondre à une inattention auditive liée à cette compétition d'attention. Dans un contexte calme, sans usage du téléphone, sans fond sonore particulier et en supposant que les messages en cabine ne peuvent être éteints ou diminués fortement de volume, un tel message soudain aurait cependant dû attirer l'attention du conducteur, notamment dans sa recherche d'organisation de ses futures tâches. C'est pourquoi cette hypothèse nous semble peu probable et que nous privilégions l'autre hypothèse d'un dysfonctionnement de la radio.

Dans tous les cas, l'alerte du PCL si elle avait été perçue, aurait pu être un moyen de ramener l'attention du conducteur du « service 17 » vers la recherche d'information devant lui.

4.6 - Les facteurs organisationnels et humains

Dans le guide « Facteurs organisationnels et humains - Guide d'évaluation FOH des processus de Retour d'EXperience après événement (REX) »¹⁴, l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)¹⁵ explique en quoi l'être humain est un agent faillible bien qu'il ait une capacité d'adaptation unique qui lui permet de faire face quotidiennement à la variabilité de son activité. La faillibilité humaine fait partie du quotidien des hommes au travail, elle est par définition involontaire, et indépendante des conséquences qu'elle produit dans un système complexe. L'organisation doit s'efforcer de concevoir et mettre en place les conditions d'un système « *tolérant à l'erreur* » d'un point de vue technique et social. En d'autres termes, si l'erreur humaine peut être envisagée comme un des facteurs contributifs à l'occurrence d'un événement indésirable, elle ne saurait être citée comme un de ses facteurs explicatifs. **Toute situation à risque ne peut se réduire à une vision comportementaliste centrée sur l'individu**. Le niveau de

14 Mars 2015 DRA-15-149664-04974A.

15 L'INERIS a pour mission de contribuer à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, et sur l'environnement.

sécurité résulte au contraire des caractéristiques et dynamiques d'un système (organisation) sociotechnique complexe dans sa globalité.

James Reason¹⁶, auteur du livre « L'erreur humaine », a créé un modèle appelé « swiss cheese model » ou « tranches de gruyère » dans lequel entrent en compte les défenses, les barrières et les sécurités d'un système. Celles-ci peuvent être comparées à des tranches de gruyère avec des trous qui symbolisent les failles dans chaque niveau de défense (technologiques, sécurités liées aux acteurs eux-mêmes, barrières correspondant aux procédures, contrôles administratifs, etc). Pour qu'un accident ait lieu, il faut que des faiblesses – « trous » – dans les défenses et les barrières de sécurité soient en perspective à chaque niveau de défense. Ainsi le plus souvent, plusieurs incidents en chaîne sont nécessaires pour provoquer un accident. Le modèle de James Reason est particulièrement utile pour illustrer comment un accident peut avoir plusieurs causes.

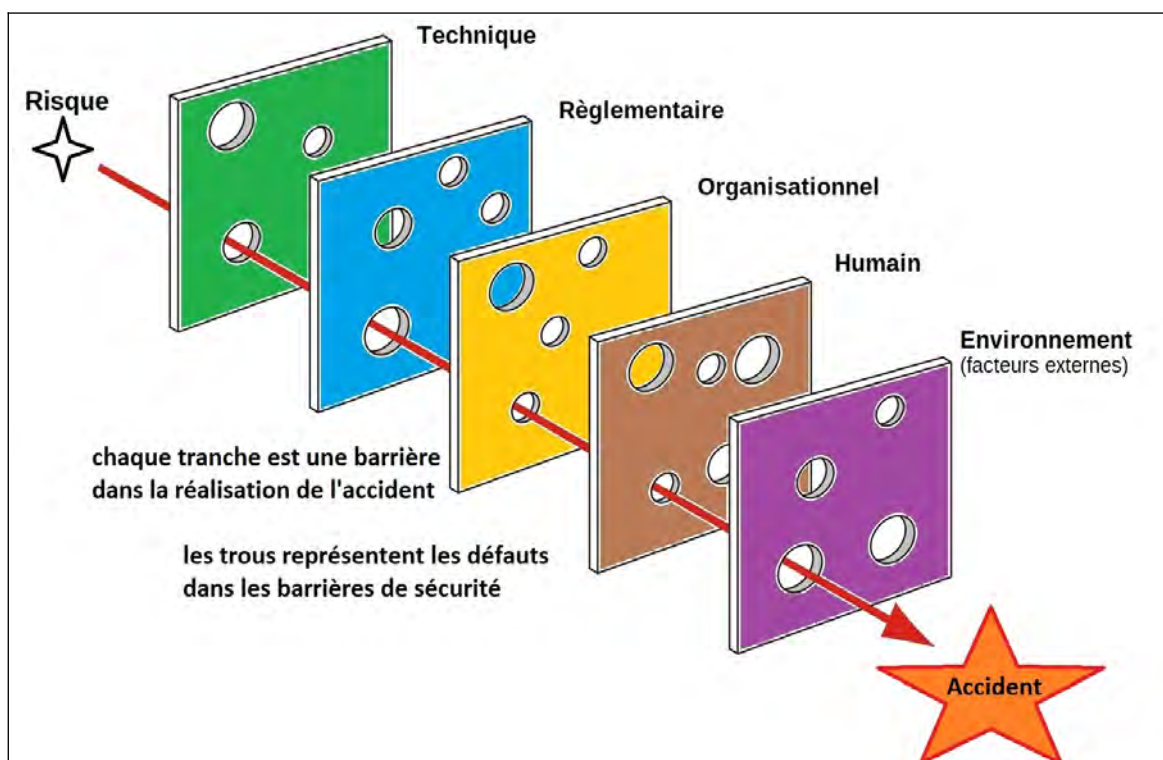


Figure 57 : représentation en « tranches de gruyère » des barrières de défense, James Reason, 1990

On retrouve, dans l'ensemble de nos analyses précédentes, différentes barrières de défense et leurs faiblesses associées dans la collision du 11 février 2019 :

- technique : des possibles dysfonctionnements fugitifs techniques (RST principalement) empêchent la transmission de l'information d'alerte au conducteur tamponneur ;
- réglementaire : lors du renfort de l'offre sur T2, l'augmentation de fréquence et la modification de la zone du SMR, avec l'entrée désormais par l'Ouest, n'a pas été étudiée du point de vue de la sécurité et des limites d'exploitation du système ;
- organisationnel : la procédure de collationnement n'est pas assez précise pour permettre aux régulateurs de savoir comment et quand réagir en l'absence de collationnement d'un conducteur ;

¹⁶ James Reason, britannique né en 1938, est professeur de psychologie à la Manchester University, Royaume-Uni, et expert en facteurs humains.

- humain : le conducteur a déporté son attention sur des tâches de conduite secondaires (optimisation de la vitesse, organisation de sa fin de tour) dans un contexte de diminution des sollicitations extérieures (aucune traversée de véhicules routiers, une seule de piétons/cycles en extrémité de station) ;
- environnement : un bouchon conséquent s'est formé entre les stations Les Moulineaux et Jacques-Henri Lartigue avec trois rames arrêtées dont une à un emplacement inhabituel.

Une représentation appelée « Accimap », basée sur le travail de visualisation d'Inge Svedung et Jens Rasmussen¹⁷, peut synthétiser l'ensemble des actions contributives (faits et décisions) et la complexité de leur interdépendance. Une fois combinées, ces actions permettent de comprendre comment se met en place une dynamique vers l'accident et quelles sont les causes profondes.

Le graphique ci-après donne cette représentation dans le cas de la collision par rattrapage du 11 février 2019. Chaque case correspond à un type d'action, mis en œuvre par une catégorie d'acteurs tel que nous avons pu le mettre en évidence par les investigations. **Chaque flèche reliant deux cases correspond à un lien causal.** Les types d'action sont classés verticalement du plus institutionnel au plus opérationnel. Nous retrouvons, dans les dynamiques à l'œuvre, les facteurs socio-économiques, techniques, organisationnels et humains qui entrent en compte dans notre analyse.

¹⁷ Jens Rasmussen était professeur en sécurité des systèmes et en facteurs humains à Risø au Danemark. Inge Svedung est professeur à la Karlstad University en Suède.

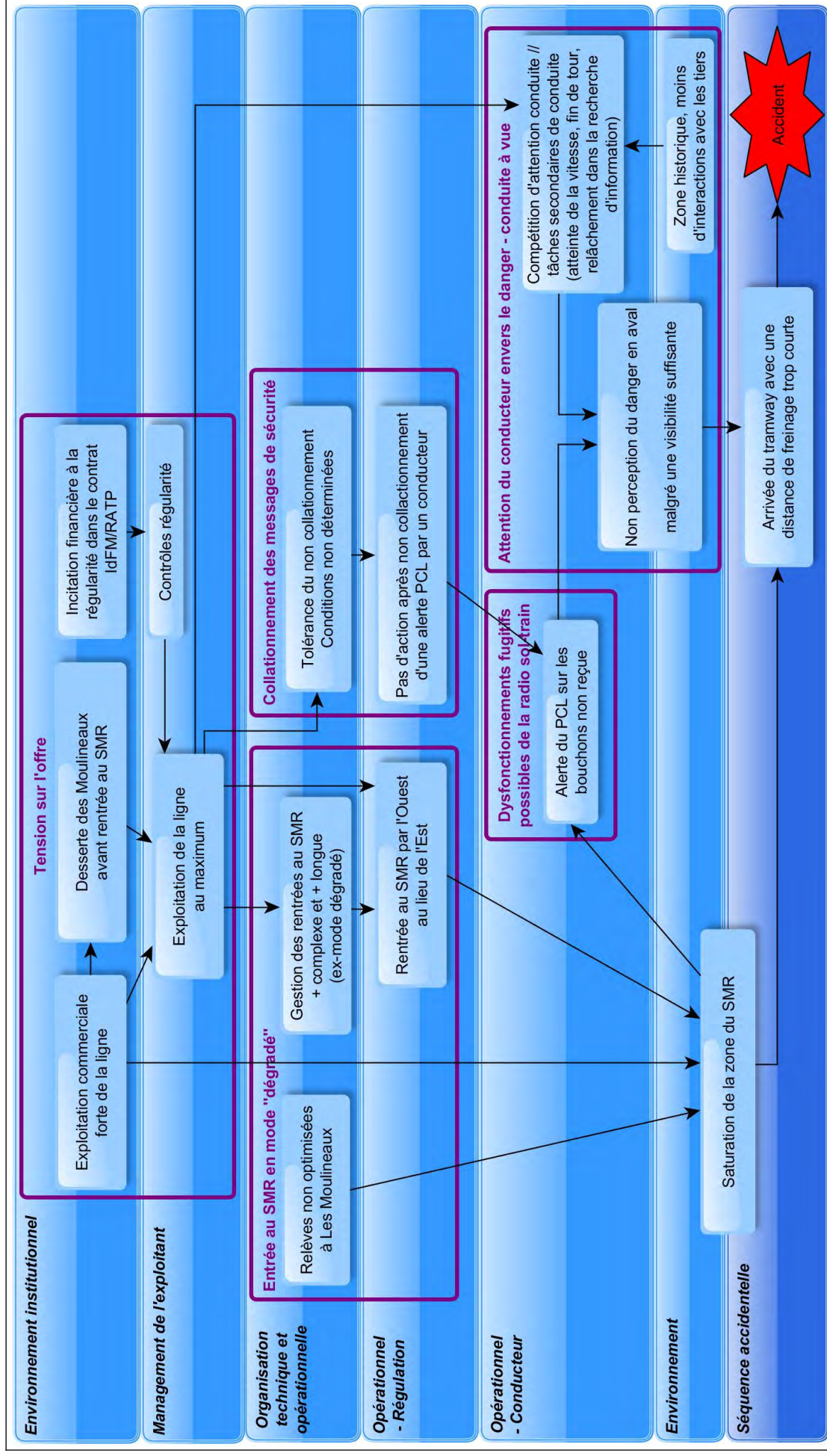


Figure 58 : représentation Accimap de la collision du 11 février 2019

5 - Restitution du déroulement de l'évènement

Ce chapitre restitue l'analyse du BEA-TT portant sur le déroulement de l'accident du 11 février 2019, en conclusion des investigations conduites.

Le lundi 11 février 2019, en fin d'heure de pointe du soir, un peu avant 21 h et comme d'habitude, plusieurs tramways rentrent au site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux. La rentrée s'effectue par le côté Ouest.

Entre 20:58:23 et 20:59:13, un message général est délivré par le Poste de Commandement Ligne de T2. Ce message annonce l'accumulation de tramways à Les Moulineaux et demande aux conducteurs de temporiser.

Le conducteur du tramway « service 63 » qui suit le « service 17 » ne reçoit pas le message général de la régulation via la radio sol-train. Il est possible que la radio RST connaisse un dysfonctionnement fugitif. Le conducteur du « service 63 » ne collationne donc pas le message auprès du régulateur au PCL.

À 20:59:13, le tramway « service 17 », qui a entendu le message, s'arrête en ligne, au niveau du site de maintenance et de remisage des rames, entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux. Il s'arrête 117 mètres avant la signalisation S207 indiquant l'occupation de la zone aval et ce, pendant plus d'une minute. Il attend que les trois tramways devant lui avancent et libèrent la voie.

À 21:00:27, le conducteur du « service 63 » part de la station Jacques-Henri Lartigue. Il prend de la vitesse en surveillant son indicateur de vitesse et réfléchit aux prochaines actions qu'il devra faire sur sa fin de service. Il atteint 57 km/h, aperçoit le tramway « service 17 » arrêté en ligne, freine d'urgence et, deux secondes plus tard, le percute à 43 km/h. Il est 21:00:56.

Un agent de maintenance présent sur le site de maintenance et de remisage entend le bruit de la collision et avertit le PCL. Le PCL, après compréhension et bonne localisation de la collision, procède à la coupure de l'alimentation électrique et à l'appel des secours.

Les secours arrivent sur place à 21 h 17. La collision par rattrapage fait 12 blessés dont un grave. Les dégâts matériels, notamment sur les deux tramways, sont importants.

Le trafic est interrompu sur l'ensemble de la ligne jusqu'à la fin de la journée du 11 février 2019, puis entre Parc de Saint-Cloud et Issy-Val de Seine toute la journée du 12 février. Le 13 février en fin de matinée, l'exploitation complète reprend après que l'exploitant a dégagé les tramways endommagés et réparé l'infrastructure.

6 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

6.1 - L'arbre des causes

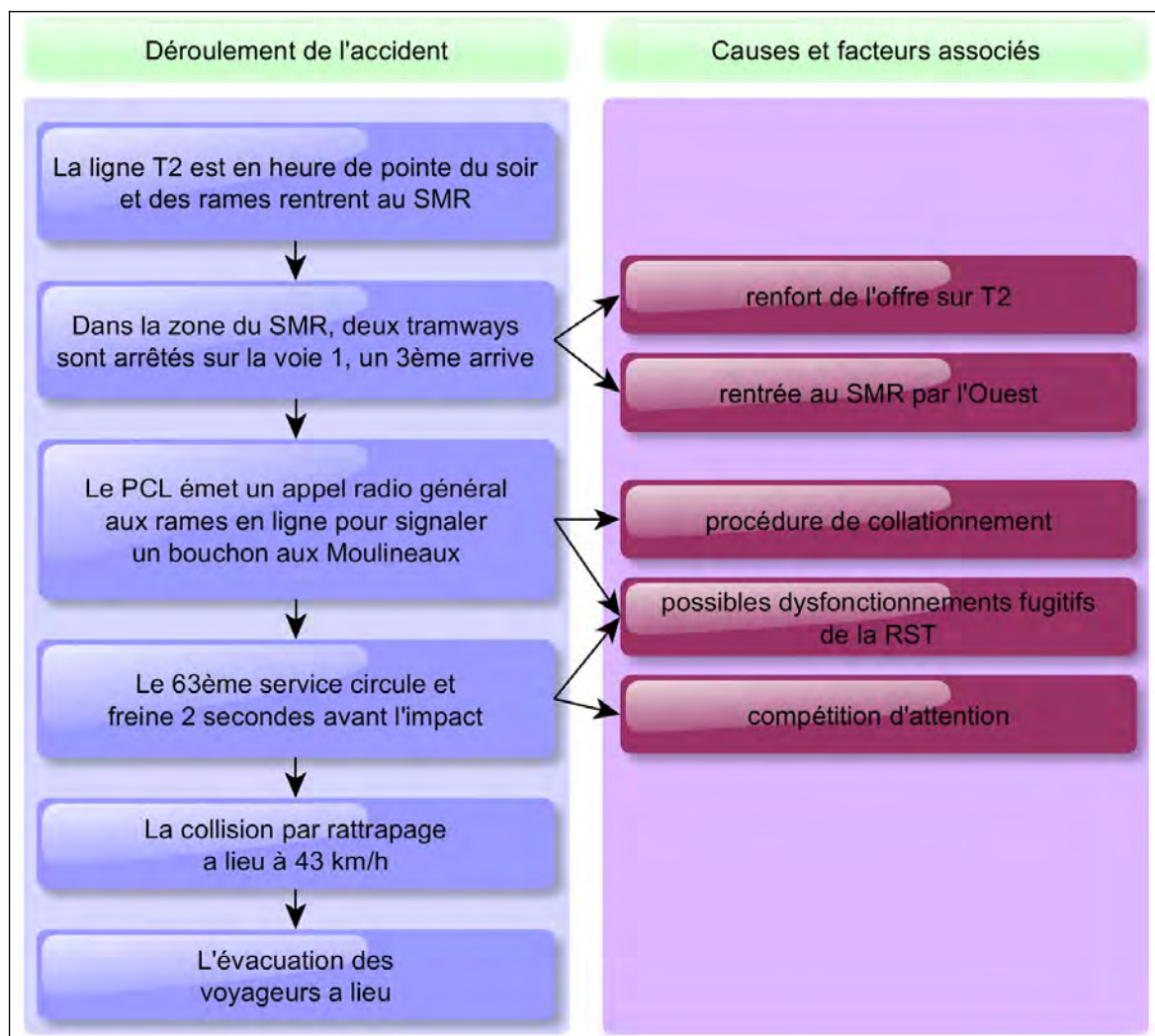


Figure 59 : arbre des causes

6.2 - Les causes de l'évènement

Le rattrapage entre les deux tramways le 11 février 2019 est causé par le freinage tardif du conducteur du tramway tamponneur.

Plusieurs facteurs techniques, organisationnels et humains ont contribué à l'accident :

- Le conducteur s'est focalisé sur deux tâches secondaires : l'atteinte optimale de sa vitesse de 60 km/h et la planification de la fin de son parcours avant retour au dépôt de son tramway. Il l'a fait après être entré dans une section de ligne plus calme, pouvant amener à une certaine baisse de son attention globale.
- Avant son départ de la station Jacques-Henri Lartigue, le conducteur ne perçoit ou ne reçoit pas de message lui permettant d'être averti des bouchons se formant en aval et d'identifier qu'une rame le précède de peu, possiblement du fait d'un dysfonctionnement fugitif de la radio sol-train du tramway tamponneur.

- La vérification de la bonne réception (collationnement) de l'envoi de messages oraux d'alerte par la régulation n'est pas systématiquement effectuée. En cas de non-collationnement, les actions du PCL pour garantir la sécurité ne sont pas claires.
- Un tramway est arrêté en ligne trop en amont d'un feu ferroviaire car son conducteur privilégie la règle de respecter 200 mètres entre rames, règle qui n'avait pas lieu d'être dans ce cas.
- Un autre tramway est arrêté sur la voie opposée plus longtemps que prévu en station Les Moulineaux en attente de relève de conducteur. Il suspend la manœuvre d'entrée au SMR.
- Le retour des tramways au site de maintenance et de remisage s'effectue par l'entrée exceptionnelle, côté Ouest. Depuis 2015, suite à l'augmentation de fréquence des rames sur la ligne T2, cette entrée est utilisée de façon habituelle. Elle a augmenté la durée d'immobilisation des voies et elle crée des bouchons sur la ligne. La rentrée par l'Ouest et une non-optimisation des relèves à Les Moulineaux bloquent plus longuement l'exploitation de T2 dans la zone du SMR.
- La fréquence élevée des rames sur la ligne T2 ne permet pas un écoulement des rames lors des entrées du soir au SMR sans accumulation de rames en ligne.

Les orientations préventives visant à éviter le renouvellement d'un tel accident sont à rechercher dans les domaines suivants :

- l'organisation de l'exploitation de la ligne T2 et les procédures associées ;
- l'analyse de l'impact sur la sécurité du renfort de l'offre ;
- les méthodes de retour d'expérience sur les événements de conduite, en intégrant les facteurs organisationnels et humains ;
- la fiabilité de la radio sol-train.

6.3 - L'organisation de l'exploitation de la ligne T2 et les procédures associées

Plusieurs points, relevés dans nos analyses comme ayant été des facteurs contributifs à l'accident, concernent les procédures d'exploitation. Ces points sont rappelés ci-après et font l'objet d'une recommandation générale en fin de chapitre.

6.3.1 - L'inter-distance des rames lors des entrées au SMR Ouest

La section de voie entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux n'est pas concernée par une perte de visibilité à distance de freinage. Une sécurisation de la conduite par une signalisation ferroviaire n'est donc pas exigée.

La mise en place d'une signalisation pourrait être un moyen possible pour améliorer l'exploitation au niveau de Jacques-Henri Lartigue afin d'éviter l'entassement et l'arrêt en ligne de tramways avec voyageurs dans le secteur des Moulineaux. De même, la pose d'une réduction de vitesse dans cette zone pourrait diminuer les risques lors des manœuvres de rames. Une intervention sur la signalisation n'est toutefois pas indispensable pour autant que d'autres améliorations soient mises en place.

Une action a immédiatement été réalisée par la RATP suite à la collision, à savoir une information adressée par l'encadrement de la ligne T2 à l'ensemble des régulateurs demandant de faire stationner à la station Jacques-Henri Lartigue un tramway qui suit un

tramway rentrant de Moulineaux vers le SMR. Depuis le 11 mars 2020, elle a été abandonnée au profit de la mise en place des retraits au SMR par l'Est concernant les premières rentrées de nuit.

6.3.2 - L'accès au site de maintenance et de remisage

La rentrée par l'Ouest permet de réaliser plus de kilométrage commercial que la rentrée par l'Est, et permet donc de mieux respecter le contrat IdFM-RATP.

Sans identification des impacts sécuritaires, aucune difficulté n'est formellement identifiée et rien ne s'oppose à faire rentrer les rames par l'Ouest.

Suite à l'accident, la RATP a précisé les modalités d'exploitation concernant les rentrées au SMR : afin de se rapprocher au plus près de l'intervalle minimal tout en maintenant l'offre de transport actuelle, les tramways sont rentrés au SMR par l'accès Est durant la période 20 h 05 – 20 h 52. Le risque dû à l'accumulation de tramways durant cette période est alors diminué. Ces modalités sont mises en place depuis le 11 mars 2020 par la RATP. Une communication a été faite par le responsable de la ligne à l'ensemble des régulateurs. Des consignes, notifications et explications orales auprès de l'équipe et de l'encadrement ont également accompagné ce changement. Le nouveau tableau de marche a été mis en service le 1^{er} octobre 2020.

6.3.3 - La relève à Les Moulineaux

La priorité donnée au tramway situé en quai 2 du fait de son parcours en exploitation au détriment du tramway en quai 1 sortant de l'exploitation, peut pénaliser les rames (également en exploitation) en voie 1 derrière le tramway rentrant au SMR. Toutefois, au vu du fonctionnement de la zone de manœuvre, le régulateur ne peut pas choisir une stratégie de régulation différente (telle que privilégier le remisage depuis le quai 1 ou laisser d'abord passer le tramway du quai 2 rentrant au SMR) lorsqu'une rame occupe le circuit de voie placé au droit de la station. Cette contrainte est inhérente au fonctionnement de cette zone de manœuvre.

À cette contrainte s'ajoute le fait que le quai 2 de la station Les Moulineaux est un lieu de relève des conducteurs. Peu avant la collision, la rentrée d'un tramway en quai 1 au SMR est retardée par la relève tardive d'une rame arrêtée au quai 2.

Cet aléa d'exploitation maîtrisable par la RATP a été corrigé à l'issue de l'accident. En effet, parmi les actions immédiates prises par la RATP, il a été demandé à ce que, lors d'une prise de service en cours de route, l'agent se présente cinq minutes avant le passage du tramway. L'ensemble des régulateurs de T2 est également invité à s'assurer que les relèves à « Les Moulineaux quai 2 » se fassent immédiatement afin de ne pas bloquer un tramway rentrant au SMR depuis « Les Moulineaux quai 1 ». Les rentrées effectuées désormais par l'Est permettent de s'affranchir des conséquences liées à une éventuelle relève tardive.

6.3.4 - La règle d'arrêt au S207

La confrontation de la règle du fonctionnel du S207 et de la règle d'espacement de 200 mètres entre les tramways sur T2 a induit des incompréhensions chez le conducteur du « service 17 » et une mise en application pratique non claire (§ 4-3-2).

La RATP déploie actuellement un rappel de la réglementation concernant le fonctionnel du S207, prévu dans le cadre des formations continues « Tram+ » de T2. La moitié des conducteurs habilités a bénéficié de ce rappel à fin 2019, un taux de 100 % doit être atteint à l'issue de l'année 2020.

De plus, le respect d'une distance de 200 mètres entre tramways ne peut être effectif que si une distance de visibilité d'au moins 200 mètres est possible devant le conducteur. La courbe après Jacques-Henri Lartigue présente une visibilité de 85 mètres.

La RATP étudie l'adéquation des vitesses à la distance de visibilité et les masques statiques, et de ce fait la pertinence des TIV. Une étude est en cours sur la mise en place d'une signalisation d'espacement et/ou l'abaissement des limitations de vitesse.

6.3.5 - Le collationnement

Avant l'accident, l'instruction de circulation des tramways indique que « *Tous les messages doivent être collationnés.* » Or ceci entraînerait une saturation de la RST, notamment lors des appels généraux à l'attention de tous les conducteurs de tramway sur T2. Des écarts à cette consigne non applicable dans son intégralité sont donc tolérés par les régulateurs et l'encadrement. Le collationnement avait perdu ainsi son objectif principal d'accusé de réception et de bonne compréhension, d'autant plus important avec une RST qui peut présenter des dysfonctionnements fugitifs.

Un rappel des règles de collationnement a été inscrit à l'ordre du jour des sessions de formation continue « Tram+ » de l'année 2019. Et en novembre 2019, la consigne a évolué et a précisé les cas indispensables de collationnement. Le BEA-TT prend note de ces améliorations.

Toutefois, en cas d'absence de collationnement d'un conducteur suite à un appel général ou individuel du PCL, les actions à mener par le régulateur ne sont pas décrites.

Suite à l'accident, la RATP a émis une instruction individuelle abordant les thèmes « réglementation générale », « signalisation », « procédures » et « retrait au SMR ». Elle est dispensée par l'encadrement de la ligne T2 à l'ensemble des machinistes receveurs habilité Tramway. Fin 2019, l'ensemble des agents a reçu l'instruction.

Un rappel des règles de « marche à vue », de « collation » et de « distance de sécurité entre deux rames » est inscrit à l'ordre du jour des sessions de formation continue « Tram+ » depuis le deuxième semestre 2019. Parmi les conducteurs habilités, la moitié a bénéficié de ce rappel à fin 2019 et l'ensemble aura assisté aux sessions « Tram+ » à l'issue de l'année 2020.

La RATP a identifié dans son plan d'actions d'effectuer une mise à jour réglementaire d'ici novembre 2020 afin de formaliser les mesures à prendre en cas d'absence de collationnement. De plus, la RATP déploie une refonte de la formation continue « Tram+ Encadrants », portant notamment sur la hiérarchisation des prises de décisions et répartition des tâches aux moments critiques. Enfin, la RATP travaille à la mise en place d'un process d'attribution des tâches entre « régulateur » et « interface » lors des manœuvres de rentrée au SMR. La diffusion de ces pratiques auprès des régulateurs et des conducteurs de la ligne T2 doit ensuite être effectuée. Début 2021, la RATP prévoit une réflexion sur une déclinaison à tout le réseau tramway. Le BEA-TT prend note de ces pistes d'amélioration.

En conséquence des cinq points analysés ci-dessus, le BEA-TT émet la recommandation suivante :

Recommandation R1 adressée à la RATP :

Effectuer des améliorations dans les consignes d'exploitation en lien avec les sujets suivants :

- **Entériner les rentrées de nuit au SMR par l'accès Est pendant la période critique de fin d'heure de pointe.**
- **Mettre en cohérence la consigne de 200 mètres entre tramways et la visibilité disponible dans l'interstation Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux. L'analyse pourra utilement être étendue à l'ensemble du réseau de tramways de la RATP.**
- **Préciser les actions à réaliser par les régulateurs en cas d'absence de collationnement, et envisager les cas de panne potentielle y compris celles de la RST et de l'IHM.**

6.4 - L'analyse d'impact du renfort de l'offre sur T2

Le renfort d'une offre commerciale est une question politique, financière mais aussi pose des problématiques d'exploitation. Dans le cas du T2, ces problématiques d'exploitation se complexifient car la fréquence est élevée et approche les limites du système.

Dans le cadre du décret n° 2017-440 du 30 mars 2017 relatif à la sécurité des transports publics guidés, une modification « substantielle » est définie comme toute modification d'un système de transport public guidé ou d'une partie de système de transport public existant, dès lors qu'elle modifie la démonstration de sécurité exposée dans le dossier de sécurité prévu aux articles 38 et 68 ou, en l'absence d'un tel dossier, dès lors qu'elle conduit à un changement notable des fonctions de sécurité du système ou qu'elle nécessite l'emploi de technologies nouvelles. La catégorisation en « substantielle » ou « non substantielle » est déterminée par le porteur du projet après analyse et indiquée par l'autorité organisatrice de la mobilité aux services de l'État, qui apprécient le classement en substantiel ou non, et peuvent demander de le requalifier. Les modifications proposées peuvent faire l'objet d'une évaluation complémentaire par un organisme qualifié agréé (OQA).

Le renfort de l'offre commerciale sur T2 a été considéré comme ne constituant pas une modification substantielle étant donné que les modifications apportées n'entraînent pas d'évolution majeure dans la gestion de la signalisation et reposent sur les technologies connues. L'augmentation de la fréquence d'exploitation n'a pas été considérée comme une modification du système du point de vue de la sécurité. À l'époque de cette évolution, ce type de modification ne l'était habituellement pas par la profession. La performance des rentrées au SMR des Moulineaux n'a pas été étudiée non plus lors de l'évolution. Seul l'intervalle entre rames a été contractualisé entre IdFM et la RATP. Il s'agissait d'un sujet organisationnel, la question de la sécurité du système ne s'est pas posée. IdFM et RATP ont accepté une situation peu performante et qui ne pouvait que conduire à un embouteillage, notamment du fait d'une manœuvre de cisaillement de la voie de circulation opposée. Les renforts d'offre n'étaient cependant regardés qu'aux terminus, par rapport aux contraintes d'injection-retrait.

Il est malencontreux que les impacts n'aient pas été analysés du point de vue de la sécurité sur les entrées et sorties du SMR et sur l'exploitation de la ligne dans cette zone. La question de l'exploitabilité aurait également été pertinente.

Dans son rapport circonstancié sur cet accident grave et transmis au DSTG, la RATP réalise une telle analyse qui aurait mérité d'être menée en 2015.

Désormais, la RATP a prévu d'effectuer un « filtre Sécurité Ferroviaire » également lors d'un projet d'exploitation, c'est-à-dire une vérification de l'impact sur la sécurité du système. Le BEA-TT prend note de cette amélioration. L'analyse sécuritaire lors d'un renfort d'offre, d'une augmentation de fréquence, d'une réduction d'intervalle entre rames devrait être réalisée systématiquement.

Du côté de l'autorité organisatrice, le process concernant un renfort d'offre a également évolué : Île-de-France Mobilités a prévu de demander dorénavant systématiquement les conclusions explicites de l'analyse sécuritaire de l'exploitant et les éventuelles dispositions nécessaires pour maintenir le niveau de sécurité de la ligne. Si le renfort est important, le projet passe devant le conseil d'administration d'IdFM. Le BEA-TT prend note de la prise en compte nouvelle d'analyses de sécurité lors des renforts d'offre.

Cette problématique ne concerne toutefois pas que la RATP et Île-de-France Mobilités. Les projets de renfort d'offre vont être de plus en plus fréquents, sur toutes les lignes de tramway en France. Une action nationale sous couvert du STRMTG est nécessaire. Aussi, le BEA-TT émet la recommandation et l'invitation ci-dessous.

Recommandation R2 adressée au STRMTG :

Pour toute ligne de tramway en France, considérer une augmentation de fréquence comme une modification de système et, de ce fait, exiger du porteur de la modification une analyse des impacts d'exploitation sur le plan sécuritaire, sur l'ensemble de la ligne concernée.

Le BEA-TT invite l'ensemble des autorités organisatrices de la mobilité des réseaux de tramway à effectuer une analyse sécuritaire des impacts d'exploitation sur l'ensemble de la ligne concernée lorsqu'une augmentation de fréquence est envisagée.

6.5 - Les modalités de retour d'expérience sur les événements de conduite par la RATP

Les différents facteurs en lien avec le retour d'expérience sur les événements de conduite sont récapitulés ci-dessous et font l'objet d'une recommandation globale en fin de chapitre.

6.5.1 - Les enregistrements radio

Les messages passés par la radio sol-train depuis le PCL ne sont pas enregistrés. La RATP s'interroge pour avoir cette fonctionnalité dans le cadre de la mise à jour possible du système d'aide à l'exploitation afin d'inclure une modalité de « rejeu ». Dans le cadre d'une étude visant à renouveler le système d'aide à l'exploitation (SAE) Tramway, la RATP indique que ce point pourra être inscrit dans le cahier des charges.

Cet enregistrement aurait permis à l'enquête interne et à l'enquête technique du BEA-TT de disposer des propos factuels et de mieux comprendre les échanges qui ont eu lieu entre le PCL et les conducteurs ce soir-là, permettant d'affiner la compréhension et l'analyse de l'accident.

La RATP envisage de mettre en place une évolution de l'outil d'aide à l'exploitation et à l'information voyageurs du PCL (SAE et système « SIEL ») permettant, entre autres, une lisibilité plus fine sur le positionnement de chaque tramway en temps réel ou d'avoir la possibilité de programmer des départs sur ordre. Ceci a été formalisé dans le cahier des charges du nouveau SAE, prévu pour 2021/2022.

Une uniformisation des outils de commandes et de parcours sur la ligne T2 est en cours de finalisation. L'ensemble des chargés d'exploitation Tramway bénéficient d'une formation sur cette application lors de leur cursus. Le BEA-TT prend note de cette amélioration.

6.5.2 - La tâche principale de conduite et les tâches secondaires

La compétition entre tâches de conduite a conduit à une affectation insuffisante des ressources d'attention sur l'activité principale de conduite, le conducteur s'appuyant sur ses automatismes. Sa capacité à détecter une information capitale pour la sécurité a été amoindrie.

Une approche uniquement centrée sur les conducteurs apparaît réductrice du point de vue des mesures à définir pour lutter contre la combinaison des facteurs qui amènent les conducteurs à focaliser leur attention sur une tâche annexe : l'erreur humaine de la conduite à vue est rarement la cause unique d'un accident. Le Conseil national de la sécurité routière propose des pistes d'action dans son rapport « Les défaillances d'attention en conduite » (introduit au §4.5.2), bien que les perturbations de l'attention à la conduite comportent plusieurs aspects qui rendent ces perturbations difficiles à maîtriser. Dans le cas de la compétition d'attention, le rapport préconise des actions de sensibilisation de l'ensemble des conducteurs dès la formation initiale, complétées par des campagnes de communication régulières. Un autre axe consiste à mieux évaluer l'influence des perturbations de l'attention dans les accidents via un recueil de données intégrant ces défauts d'attention (et leurs sources).

La RATP intègre les facteurs organisationnels et humains dans ses analyses d'accidents. Cela mérite d'être poursuivi. Cet accident montre que le sujet des perturbations et de la compétition d'attention est un domaine indiqué pour ces développements, tant dans les analyses que dans la formation des conducteurs.

La RATP a également engagé une expérimentation sur T2 en mars 2020 d'un système de détection de l'hypovigilance, sur la base de scénarios en lien avec l'hypovigilance. Les premiers résultats sont encourageants et ouvrent des perspectives intéressantes. La RATP poursuit son action sur cette innovation.

6.5.3 - L'anticipation des événements rares par les signaux faibles

Pour ce type d'événement rare et catastrophique, il n'existe pas nécessairement d'incidents qui laissent présager de la catastrophe à venir. Leur anticipation passe plutôt par l'identification et l'analyse des signaux faibles, tels que des bouchons réguliers au SMR, des rattrapages entre tramway et rail-route sur d'autres lignes, des freinages d'urgence non liés à un tiers extérieur au système mais interne au système (un FU qui aurait conduit à un arrêt à quelques mètres d'un tramway arrêté en ligne par exemple) ... Ces signaux ne doivent pas être considérés comme une normalité.

Suite à l'accident, la RATP a mené une étude sur le non-renouvellement de ce type d'événement sur les autres lignes qu'elle exploite, et a corrigé pour un cas s'approchant de cette situation.

En synthèse de ce chapitre, le BEA-TT émet la recommandation et l'invitation suivante.

Recommandation R3 adressée à la RATP :

Développer et approfondir les facteurs organisationnels et humains dans les analyses d'accident, en particulier sur des sujets tels que la perturbation d'attention et la compétition d'attention, et les transcrire en actions correctives.

Lors de la formation initiale des conducteurs, complétée par des campagnes de communication régulières, intégrer des actions de sensibilisation concernant les possibles défaillances d'attention en conduite.

Le BEA-TT invite la RATP à mettre en œuvre l'enregistrement des messages passés à la radio sol-train et à faire évoluer l'outil d'aide à l'exploitation et à l'information voyageurs.

6.6 - La fiabilité de la radio sol-train

Habitués aux messages du PCL concernant les bouchons sur la ligne, émis à juste titre pour la régulation et la circulation en sécurité des tramways, les conducteurs, en l'absence de message, peuvent considérer qu'il n'y a pas de danger. Pour cela, un rappel des règles de la marche à vue a été effectué lors des sessions de formation continue « Tram+ » de l'année 2019 comme précisé précédemment.

Les remontées des conducteurs indiquent des dysfonctionnements fugitifs de la radio malgré des vérifications ponctuelles et une maintenance régulière. La fiabilité de la radio sol-train n'a pas été mesurée lors de cette enquête. Les témoignages ainsi que les échanges entre la direction et les représentants du personnel confirment que la RST peut présenter des dysfonctionnements fugitifs, d'une occurrence faible, non systématique ni régulière, mais suffisante pour engager des vérifications par l'exploitant, le jour même du signalement et dont les résultats montrent un fonctionnement imparfait dans 10 % des cas. Le jour de l'accident, la panne peut avoir eu lieu puis disparaître sur la cabine M2 de la rame 416. Ce même jour, un dysfonctionnement fugitif a également touché l'IHM de la rame accidentée peu avant l'accident, alors que l'IHM est identifiée comme permettant d'envoyer un message au conducteur par la régulation.

Recommandation R4 adressée à la RATP :

Mettre en place des actions pour évaluer puis améliorer la fiabilité de la radio sol-train, et s'assurer de celle de l'IHM, étant donné qu'il s'agit des moyens de transmission rapide d'alerte par le PCL aux conducteurs de T2.

7 - Conclusions et recommandations

7.1 - Conclusions

Le lundi 11 février 2019 à 21 h 01, sur la ligne de tramway T2 du réseau parisien, le tramway « service 63 » en circulation commerciale percute par l'arrière un autre tramway, le « service 17 », arrêté en ligne. La collision a lieu au niveau du site de maintenance et de remisage des tramways à Issy-les-Moulineaux, entre les stations Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux.

La cause de cette collision par rattrapage est le freinage tardif du conducteur du tramway tamponneur, alors que son attention sur sa tâche principale de conduite est réduite au bénéfice de tâches de conduite secondaires telles que l'atteinte optimale de sa vitesse de 60 km/h et la planification de la fin de son parcours avant retour au dépôt de son tramway.

La ligne T2 est en heure de pointe du soir et des tramways rentrent au site de maintenance et de remisage d'Issy-les-Moulineaux par l'accès Ouest. Cet accès est plus long et plus complexe que l'accès « historique » par l'Est. La modification de l'exploitation par l'organisation des rentrées par l'Ouest et le renfort de l'offre avec augmentation de fréquence n'a pas été considéré comme un enjeu de sécurité à l'époque.

Un tramway, le « service 28 » est arrêté plus longtemps que prévu en station Les Moulineaux en attente de relève de conducteur. Il suspend la manœuvre d'entrée au SMR de la rame sur l'autre voie. Un tramway attend sur le quai opposé pour rentrer au SMR, un second attend au feu S205 que la voie se libère, un troisième tramway, le « service 17 » est arrêté en amont du feu S207.

Entre 1 minute 40 secondes à 2 minutes 30 secondes avant la collision, le PCL émet via la radio sol-train un message d'alerte à tous les conducteurs de T2 afin de ralentir la circulation. Il mentionne spécifiquement les « service 17 » et « service 63 ». Cependant, le conducteur du « service 63 », alors en amont ou à l'arrêt à la station Jacques-Henri Lartigue, ne reçoit pas ce message d'alerte, ce qui ne lui permet pas d'être averti des bouchons se formant en aval et d'identifier qu'une rame le précède de peu.

La vérification par les régulateurs de la bonne réception de leur message oral par collationnement n'est pas effectuée. Les régulateurs ne prennent pas conscience que leur message n'a pas été entendu par le « service 63 ».

Le « service 17 » est arrêté en ligne trop en amont du feu ferroviaire S207, son conducteur privilégiant la règle de respecter 200 mètres entre tramways, règle qui n'aurait pas lieu d'être dans ce cas.

Le « service 63 » repart de la station Jacques-Henri Lartigue. Le conducteur du « service 63 », préoccupé par d'autres tâches de conduite, ne s'attend pas à trouver cette situation d'embouteillage et ne réalise que tardivement la présence du tramway arrêté en ligne devant lui, enclenchant alors immédiatement un freinage d'urgence.

Le choc a lieu 2 secondes après l'enclenchement du freinage d'urgence par le tramway « service 63 », à une vitesse de 43 km/h.

L'enquête a révélé que divers facteurs techniques, organisationnels et humains ont contribué à cette situation :

- la mobilisation de l'attention du conducteur du tramway tamponneur lors de la conduite sur des tâches secondaires en concurrence avec son attention portée à la voie devant lui ;
- la possibilité d'un dysfonctionnement fugitif de la radio sol-train du tramway tamponneur ayant entraîné la non-réception des messages oraux d'alerte émis par la régulation ;
- la non-vérification par la régulation du collationnement des messages d'alerte ;
- la localisation de la position d'arrêt de la rame percutée, à distance d'un feu ferroviaire ;
- l'accumulation de plusieurs rames dans la zone en raison du stationnement d'une rame en station en attente de relève de conducteur, du retour des tramways au site de maintenance et de remisage par l'entrée Ouest, dite entrée exceptionnelle, et de la fréquence élevée des rames sur la ligne.

Le BEA-TT émet **4 recommandations** et **2 invitations** dans les domaines suivants :

- l'organisation de l'exploitation de la ligne T2 et les procédures associées ;
- l'analyse d'impact du renfort de l'offre ;
- les méthodes de retour d'expérience sur les événements de conduite, en intégrant les facteurs organisationnels et humains ;
- la fiabilité de la radio sol-train.

7.2 - Recommandations

Recommandation R1 adressée à la RATP :

Effectuer des améliorations dans les consignes d'exploitation en lien avec les sujets suivants :

- **Entériner les rentrées de nuit au SMR par l'accès Est pendant la période critique de fin d'heure de pointe.**
- **Mettre en cohérence la consigne de 200 mètres entre tramways et la visibilité disponible dans l'interstation Jacques-Henri Lartigue et Les Moulineaux. L'analyse pourra utilement être étendue à l'ensemble du réseau de tramways de la RATP.**
- **Préciser les actions à réaliser par les régulateurs en cas d'absence de collationnement, et envisager les cas de panne potentielle y compris celles de la RST et de l'IHM.**

Recommandation R2 adressée au STRMTG :

Pour toute ligne de tramway en France, considérer une augmentation de fréquence comme une modification de système et, de ce fait, exiger du porteur de la modification une analyse des impacts d'exploitation sur le plan sécuritaire, sur l'ensemble de la ligne concernée.

Recommandation R3 adressée à la RATP :

Développer et approfondir les facteurs organisationnels et humains dans les analyses d'accident, en particulier sur des sujets tels que la perturbation d'attention et la compétition d'attention, et les transcrire en actions correctives.

Lors de la formation initiale des conducteurs, complétée par des campagnes de communication régulières, intégrer des actions de sensibilisation concernant les possibles défaillances d'attention en conduite.

Recommandation R4 adressée à la RATP :

Mettre en place des actions pour évaluer puis améliorer la fiabilité de la radio sol-train, et s'assurer de celle de l'IHM, étant donné qu'il s'agit des moyens de transmission rapide d'alerte par le PCL aux conducteurs de T2.

Le BEA-TT invite l'ensemble des autorités organisatrices de la mobilité des réseaux de tramway à effectuer une analyse des impacts d'exploitation sur le plan sécuritaire, sur l'ensemble de la ligne concernée lorsqu'une augmentation de fréquence est envisagée.

Le BEA-TT invite la RATP à mettre en œuvre l'enregistrement des messages passés à la radio sol-train et à faire évoluer l'outil d'aide à l'exploitation et à l'information voyageurs.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Parcours en cabine de Jacques-Henri Lartigue au lieu de la collision

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête


Liberté - Égalité - Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
MINISTÈRE CHARGÉ DES TRANSPORTS


Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre
La Secrétaire générale

La Défense, le 12 février 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 ;

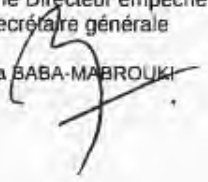
Vu les circonstances de la collision entre deux tramways, le 11 février 2019 à Issy-les-Moulineaux dans les Hauts-de-Seine ;

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 de deux tramways de la ligne T2 entre les stations « Les-Moulineaux » et « Jacques-Henri-Lartigue », le 11 février 2019 à Issy-les-Moulineaux (92).

Pour le Directeur empêché
La Secrétaire générale

Fanda BABA-MABROUKI



Grande Arche - Paris Sud 92055 - La Défense Cedex
Tél. : 01 40 81 23 27 - www.bea.fr/developpement-durable.gouv.fr

Annexe 2 : Parcours en cabine de Jacques-Henri Lartigue jusqu'au lieu de la collision



Figure 60 : en sortie de station Jacques-Henri Lartigue



Figure 61 : passage du TIV45



Figure 62 : première visibilité sur le lieu de la collision



Figure 63 : approche du TIV60



Figure 64 : passage du TIV60



Figure 65 : approche de la zone de collision



Figure 66 : localisation limite où un FU aurait permis de ne pas percuter le tramway arrêté



Figure 67 : localisation du tramway deux secondes avant l'impact, au moment de l'enclenchement du freinage d'urgence



Figure 68 : localisation une seconde avant l'impact



Figure 69 : localisation du tramway au moment de l'impact



Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre



Grande Arche - Paroi Sud
92055 La Défense cedex

Téléphone : 01 40 81 21 72

Télécopie : 01 40 81 21 50

bea-tt@developpement-durable.gouv.fr

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

