

**BEA-TT**

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

*Rapport d'enquête technique  
sur la collision entre  
une rame du tramway d'Orléans  
et un autocar  
survenue le 25 juin 2011  
à Fleury-les-Aubrais (45)*

*décembre 2012*





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

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

Affaire n° BEATT-2011-008

**Rapport d'enquête technique sur la collision  
entre une rame du tramway d'Orléans  
et un autocar survenue le 25 juin 2011  
à Fleury-les-Aubrais (45)**

## **Bordereau documentaire**

Organisme commanditaire : Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE)

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la collision entre une rame du tramway d'Orléans et un autocar survenue le 25 juin 2011 à Fleury-les-Aubrais (45)

N°ISRN : EQ-BEAT--12-16--FR

Proposition de mots-clés : accident, transport guidé, transport en commun de personnes, carrefour, signalisation, priorité aux feux, signal d'aide à la conduite

### **Avertissement**

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

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents, en déterminant les circonstances et les causes de l'événement analysé et en établissant les recommandations de sécurité utiles. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

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



# SOMMAIRE

<b>GLOSSAIRE.....</b>	<b>9</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>11</b>
<b>1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....</b>	<b>13</b>
1.1 - Circonstances de l'accident.....	13
1.2 - Bilan humain et matériel.....	13
1.3 - Engagement et organisation de l'enquête.....	13
<b>2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....</b>	<b>15</b>
2.1 - Le réseau de tramway.....	15
2.1.1 -Données générales.....	15
2.1.2 -La ligne A.....	16
2.1.3 -La section comprise entre la station « Bustière » et la rue Marcelin-Berthelot.....	16
2.1.4 -Le carrefour Ferragu/Berthelot.....	17
2.1.5 -La conduite des rames.....	18
2.2 - Le système de priorité aux feux des rames du tramway d'Orléans.....	18
2.2.1 -Le fonctionnement de la signalisation lumineuse des carrefours à feux.....	18
2.2.2 -La prise en compte des rames de tramway.....	19
2.2.3 -Les dispositifs de détection des rames de tramway.....	19
2.2.4 -Le signal d'aide à la conduite (SAC) des rames de tramway.....	20
2.3 - Les rames de tramway.....	20
2.4 - Le réseau de transport interurbain du département du Loiret.....	21
<b>3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....</b>	<b>23</b>
3.1 - Les résumés des témoignages.....	23
3.1.1 -Le témoignage du conducteur de l'autocar.....	23
3.1.2 -Les témoignages de tiers et de passagers concernant l'autocar.....	23
3.1.3 -Le témoignage du conducteur de la rame de tramway.....	24
3.1.4 -Les témoignages de passagers de la rame de tramway.....	24
3.2 - Les constatations faites sur les matériels, les conducteurs et les installations.....	24
3.2.1 -La rame de tramway et son conducteur.....	25
3.2.2 -L'autocar et son conducteur.....	26
3.2.3 -L'état des installations et les conditions de visibilité au droit du carrefour.....	27
3.3 - L'exploitation des enregistreurs.....	27
3.3.1 -L'enregistrement du dispositif vidéo de l'autocar.....	27
3.3.2 -Le chronotachygraphe de l'autocar.....	28
3.3.3 -L'enregistrement vidéo de la rame de tramway.....	29
3.3.4 -La bande tachymétrique de la rame de tramway.....	30
3.3.5 -L'enregistreur des défauts du contrôleur de carrefour.....	32

3.4 - L'examen du dossier de conception du contrôleur de carrefour et la reconstitution de l'état des feux lors de l'accident.....	32
3.4.1 -Le fonctionnement théorique du contrôleur de carrefour en l'absence de tramway.....	32
3.4.2 -Le fonctionnement théorique du contrôleur de carrefour en présence d'une rame.....	33
3.4.3 -Le recalage des phases de feux en fonction de l'avancement de la rame.....	34
3.4.4 -L'état reconstitué des feux de signalisation lors de l'accident.....	35
3.4.5 -Les hypothèses susceptibles d'expliquer la position à l'horizontal du feu R17 lors de l'approche de la rame impliquée.....	36
3.5 - La conduite pratiquée par les conducteurs du tramway d'Orléans au droit des intersections.....	37
3.5.1 -Les gestes appris en formation et leur suivi en exploitation.....	37
3.5.2 -L'examen par sondage de bandes tachymétriques.....	38
3.5.3 -L'audition de conducteurs de tramway sur leurs pratiques.....	39
3.6 - L'incidentalité et le retour d'expérience.....	40
3.6.1 -L'incidentalité de la ligne A du tramway d'Orléans.....	40
3.6.2 -L'incidentalité du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot.....	40
3.6.3 -Le retour d'expérience national.....	41
3.7 - Les préconisations relatives au signal d'aide à la conduite dans les référentiels nationaux.....	41
<b>4 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....</b>	<b>43</b>
4.1 - La situation avant l'accident.....	43
4.2 - Le déroulement de l'accident.....	43
4.3 - Les actions post-accident.....	45
<b>5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....</b>	<b>47</b>
5.1 - Le schéma des causes et des facteurs associés.....	47
5.2 - L'aménagement et le fonctionnement du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot.....	48
5.3 - L'ergonomie des signaux d'aide à la conduite des tramways.....	49
<b>6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>51</b>
6.1 - Les causes de l'accident.....	51
6.2 - Les recommandations.....	51
<b>ANNEXES.....</b>	<b>53</b>
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	55
Annexe 2 : Extrait du guide du STRMTG « Signal d'aide à la conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé – principes de fonctionnement et de sécurisation ».....	57

# Glossaire

- **AggLO** : Communauté d'Agglomération Orléans Val-de-Loire
- **AOT** : Autorité Organisatrice des Transports
- **BTL** : Base de Temps Local
- **DA** : Délai d'Approche
- **EOQA** : Expert ou Organisme Qualifié Agréé
- **FU** : Freinage d'Urgence
- **IISR** : Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière
- **PCC** : Poste de Commande Centralisé
- **PdF** : Pied de Feu
- **PTAC** : Poids Total Autorisé en Charge
- **SAC** : Signal d'Aide à la Conduite
- **SETAO** : Société d'Exploitation des Transports de l'Agglomération Orléanaise
- **STRMTG** : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés



## Résumé

Le samedi 25 juin 2011, à 17h41, une rame du tramway d'Orléans, circulant sur la ligne A en direction du terminus « Jules-Verne », percute un autocar assurant un service du réseau de transport interurbain du département du Loiret, à l'intersection des rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot de la commune de Fleury-les-Aubrais (45).

Sous le choc, la rame déraile de deux de ses trois bogies et empiète sur la voie adjacente et sur le trottoir contigu. L'autocar est poussé sur environ cinq mètres.

La collision a causé des blessures légères à quatre occupants des deux véhicules impliqués. La rame de tramway a, par ailleurs, subi des dégâts importants.

La cause directe de l'accident est le non-respect par le conducteur de cette rame de l'obligation de s'arrêter devant le feu de signalisation R17 qui présentait une barre horizontale, équivalente au feu routier rouge, depuis au moins 10 secondes lorsque la collision s'est produite et qui est demeuré dans cette position pendant les 12 secondes suivantes.

Le franchissement de ce feu qui imposait un arrêt impératif, est probablement la conséquence d'un excès de confiance du conducteur concerné tant dans le dispositif de priorité dont est dotée la ligne de tramway considérée que dans le signal d'aide à la conduite qui lui est associé.

Les raisons pour lesquelles la priorité n'a pas été donnée à la rame incriminée lors de son approche de l'intersection des rues Ferragu et Berthelot n'ont pas pu être déterminées avec certitude, soit qu'un véhicule routier arrêté pendant plus de dix secondes sur la boucle de détection située au pied du feu R17 concerné ait provoqué une modification du déroulement du cycle de feux, soit qu'une détection fictive ou un défaut fugitif de l'une des boucles de détection associées à ce feu R17 ait perturbé la prise en compte de la rame par le contrôleur de carrefour.

Par ailleurs, l'implantation du feu routier de la rue Marcelin-Berthelot trop éloignée du carrefour, et ainsi masquée à la vue des conducteurs de tramway par un bâtiment d'angle, n'a pas permis aux deux conducteurs impliqués de s'entr'apercevoir suffisamment tôt pour réagir et éviter la collision.

L'analyse de cet accident conduit le BEA-TT à formuler deux recommandations préventives portant :

- pour la première, sur l'aménagement et le fonctionnement du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot ;
- pour la seconde, sur l'ergonomie des signaux d'aide à la conduite des tramways.



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

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

Le samedi 25 juin 2011, à 17h41, une rame du tramway d'Orléans, circulant sur la ligne A en direction du terminus « Jules Verne », percute un autocar assurant un service de la ligne 20 du réseau de transport interurbain du département du Loiret, à l'intersection des rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot de la commune de Fleury-les-Aubrais (45). Sous le choc, la rame déraile de deux de ses trois bogies et empiète sur la voie adjacente et sur le trottoir contigu. L'autocar est poussé sur environ cinq mètres.

## **1.2 - Bilan humain et matériel**

L'accident a causé des blessures légères à quatre occupants des deux véhicules impliqués :

- le conducteur de l'autocar qui a été blessé par des éclats de verre et transporté au centre hospitalier régional d'Orléans-La Source ;
- le conducteur de la rame de tramway qui a subi un choc émotionnel et a été acheminé vers ce même hôpital ;
- deux usagers de l'autocar qui ont été examinés par les services de secours dépêchés sur place.

La rame de tramway a subi des dégâts importants qui ont notamment affectés le châssis de sa cabine avant, son bogie avant et les articulations entre ses caisses.

Les dégâts occasionnés à l'autocar sont moindres et localisés au niveau de la cabine.

L'accident a nécessité la fermeture du carrefour à la circulation automobile ainsi que la suspension de l'exploitation du tramway entre la station « Gare des Aubrais » et le terminus « Jules Verne » pendant environ 8 heures. Un service de remplacement par bus a été mis en place.

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

Compte tenu des circonstances de cet accident, et avec l'accord du ministre chargé des transports, le directeur du bureau d'enquêtes sur les accidents de transport terrestre (BEA-TT) a ouvert le 27 juin 2011 une enquête technique en application des articles L. 1621-1 à L. 1622-2 du code des transports.

Les enquêteurs techniques du BEA-TT se sont rendus à plusieurs reprises sur le site de l'accident. Ils ont rencontré les représentants de l'autorité organisatrice des transports, de l'exploitant de la ligne de tramway, de l'exploitant de la ligne d'autocar, du préfet, de la police judiciaire et du bureau Nord-Ouest du service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG) en charge du contrôle de la sécurité pour le compte du préfet.

Les enquêteurs ont, de plus, auditionné cinq conducteurs de rames du tramway d'Orléans et se sont entretenus avec l'entreprise ayant conçu la signalisation lumineuse régissant le fonctionnement de l'intersection concernée.

Ils ont eu communication des pièces et documents nécessaires à la réalisation de leur enquête technique, notamment le dossier de l'enquête de flagrance menée par la brigade du Loiret des accidents et des délits routiers (BADR) de la police nationale, le rapport réglementaire d'accident notable établi par l'exploitant de la ligne de tramway et les dossiers de conception de la signalisation lumineuse équipant le carrefour où l'accident s'est produit.

## 2 - Contexte de l'accident

### 2.1 - Le réseau de tramway

#### 2.1.1 - Données générales

Le réseau de tramway de l'agglomération orléanaise comprend deux lignes A et B desservant au total 49 stations réparties sur quelque 29 km. La ligne B était encore en construction à la date de l'accident.

L'autorité organisatrice des transports en est la communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire, usuellement désignée sous l'acronyme « AggLO », qui regroupe 22 communes.

Au moment de l'accident, l'exploitation de ce réseau était assurée par la société d'exploitation des transports de l'agglomération orléanaise (SETAO), filiale du groupe Véolia-Transdev, dans le cadre d'une délégation de service public venue à échéance le 31 décembre 2011. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2012, cette exploitation incombe à la société Kéolis Orléans Val-de-Loire.

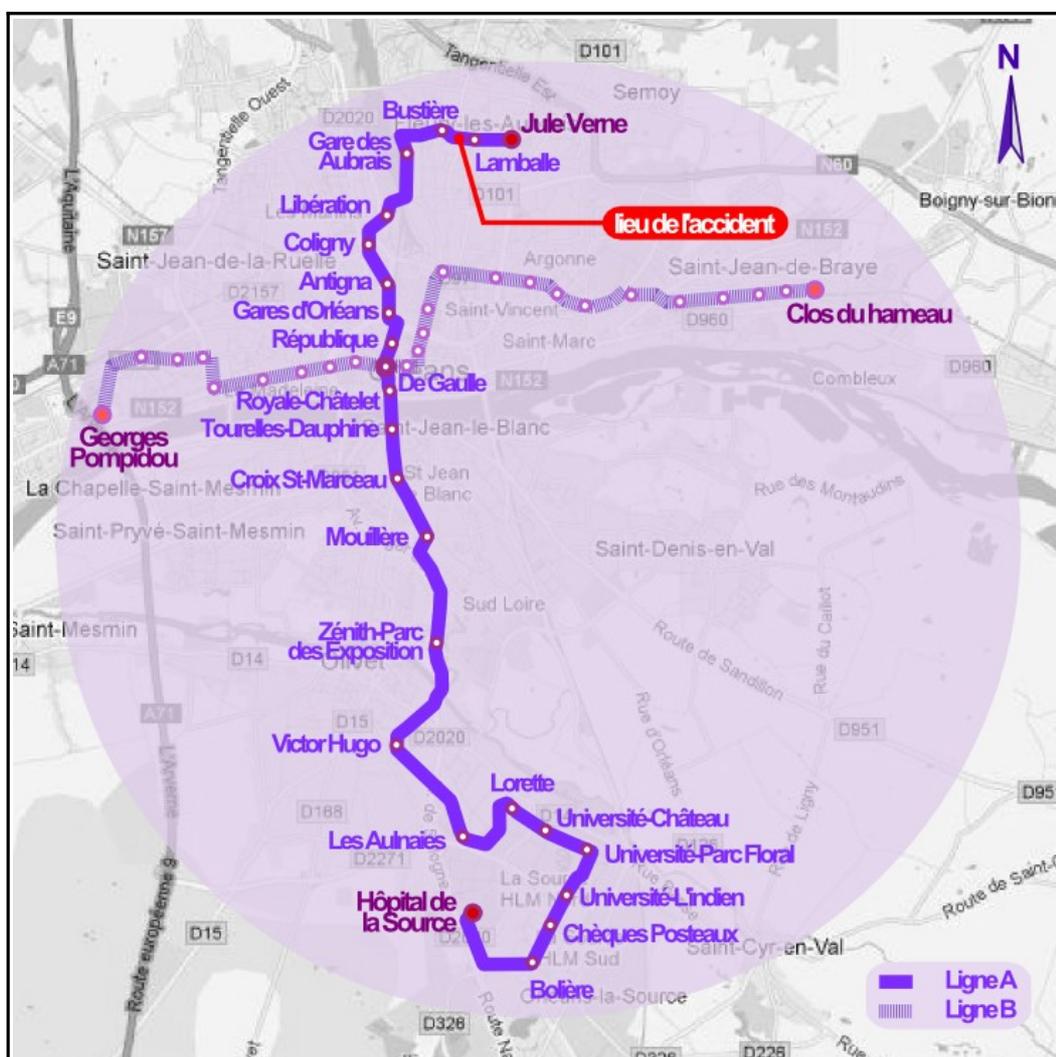


Fig. 1 : Plan de la ligne de tramway

## 2.1.2 - La ligne A

La ligne A s'étend sur une longueur de 18 km et comprend 24 stations. Sa mise en service a été autorisée par arrêté préfectoral du 23 novembre 2000. Elle est exploitée de 4h00 à 1h00, avec une fréquence de 5 minutes et demi aux heures de pointe. En 2011, l'exploitant y a recensé 11,1 millions de voyages effectués et 1,5 millions de kilomètres parcourus par ses rames. Elle est jalonnée de 86 intersections avec des voies routières.

## 2.1.3 - La section comprise entre la station « Bustière » et la rue Marcelin-Berthelot

La section de la ligne de tramway comprise entre la station « Bustière » et la rue Marcelin-Berthelot forme un S.

Les rames quittant cette station et se dirigeant vers le terminus « Jules Verne » empruntent d'abord, sur environ 120 mètres, un site propre végétalisé où leur vitesse est limitée à 30 km/h. Cette limitation de vitesse est réduite à 20 km/h avant la première courbe du S.

Elles parcourent ensuite, sur 75 mètres, un site partagé avec les véhicules des riverains. Leur vitesse y demeure limitée à 20 km/h. Le trafic riverain y est très faible et aucune signalisation ne gère les éventuels conflits.

Après avoir franchi un premier feu de signalisation, elles empruntent, sur 60 mètres, la rue René-Ferragu, mélangées à la circulation routière générale. Le tramway est alors dit « en site banal ». Sa vitesse est toujours limitée à 20 km/h.

Les rames abordent enfin le carrefour avec la rue Marcelin-Berthelot, géré par des feux de signalisation, qu'elles peuvent franchir à la vitesse maximale de 30 km/h.

Après ce carrefour, elles sont à nouveau en site propre, séparées de la circulation routière jusqu'au terminus.

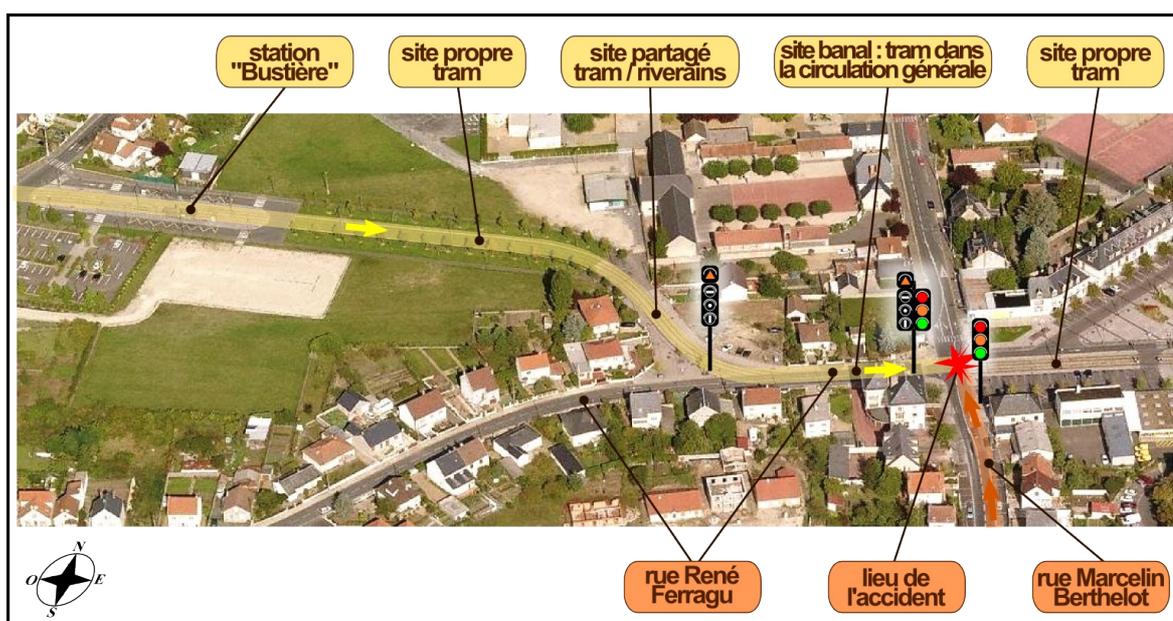


Fig 2 : Section de la ligne de tramway entre la station « Bustière » et la rue Marcelin-Berthelot

### 2.1.4 - Le carrefour Ferragu/Berthelot

Le carrefour Ferragu/Berthelot est à quatre branches. L'urbanisation aux alentours de cette intersection est peu dense, essentiellement constituée de pavillons et de commerces.

La vitesse des véhicules routiers y est limitée à 50 km/h et celle des rames de tramway à 30 km/h.

La signalisation à destination des conducteurs routiers qui équipe ce carrefour est constituée par :

- des feux de signalisation R11v rouge, jaune, vert implantés sur chacune de ses branches, à l'exception de la branche Est en sens unique. Sur la rue Marcelin-Berthelot, ces feux sont respectivement placés au sud, à 18 mètres de la plate-forme de tramway et au nord, à 15 mètres de cette plate-forme ;



R11v

- des panneaux de danger A9, implantés de part et d'autre de la rue Marcelin-Berthelot à environ 35 mètres de l'intersection, avertissant les automobilistes de la traversée d'une ligne de tramway ;



A9

- un panneau B2a et un panneau M4e, fixés au mât supportant le feu R11v situé au sud de la rue Marcelin-Berthelot. Ces panneaux interdisent aux véhicules autres que les bus de tourner à gauche.



B2a

M4e

La signalisation à destination des conducteurs du tramway comprend :

- des signaux lumineux R17, dont les indications lumineuses blanches « horizontal », « disque » et « vertical » ont les mêmes significations que le feu routier classique rouge, jaune, vert. Sur la branche Ouest du carrefour, ce signal est implanté sur le même mât que le feu routier R11v dans la mesure où la ligne de tramway est en site banal, insérée dans la circulation routière générale ;



R17

- des signaux d'aide à la conduite (SAC) lumineux, se présentant chacun sous la forme d'un triangle orange susceptible d'être clignotant, fixe ou éteint. Ils sont implantés au-dessus des feux R17. Leur rôle et leur fonctionnement sont décrits au chapitre 2.2.4 du présent rapport.



SAC

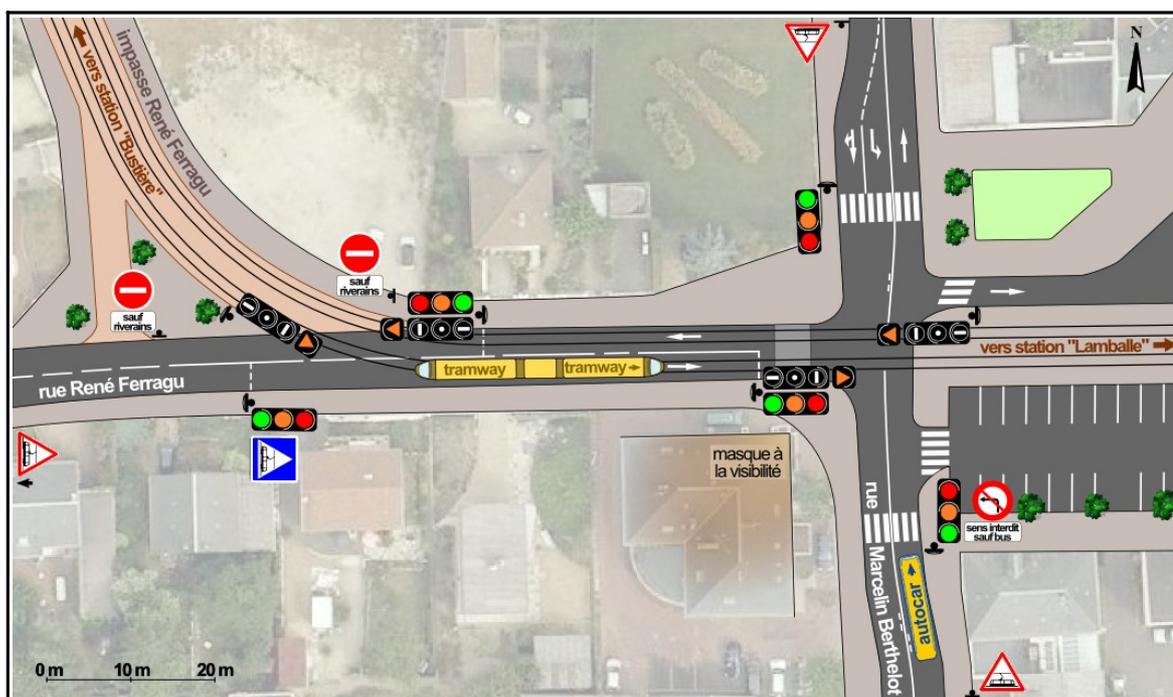


Fig 3 : Intersection de la ligne de tramway avec la rue Marcelin-Berthelot

### 2.1.5 - La conduite des rames

La ligne de tramway considérée est exploitée sous le régime de la conduite à vue. Les conducteurs des rames doivent donc faire preuve de prudence et d'anticipation pour pouvoir les stopper avant tout obstacle ou tout signal d'arrêt. En outre, les consignes d'exploitation imposent aux conducteurs de franchir les intersections avec le manipulateur de traction-freinage positionné en léger freinage, position dite « quart freinage » qui permet de limiter les temps de réaction du matériel roulant lorsqu'un freinage fort est commandé.

## 2.2 - Le système de priorité aux feux des rames du tramway d'Orléans

### 2.2.1 - Le fonctionnement de la signalisation lumineuse des carrefours à feux

La signalisation lumineuse d'une intersection est gérée localement par un contrôleur de carrefour. Chaque cycle est constitué d'une succession de phases, chacune autorisant certains mouvements et interdisant les autres.

La durée de chaque phase peut être fixe. Elle peut également être variable, par exemple en fonction du trafic routier, pour permettre une coordination de plusieurs carrefours entre eux ou pour donner la priorité aux rames de tramway. Cette durée est, en outre, encadrée par les dispositions de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (IISR) qui imposent, notamment, qu'un feu routier vert ne dure pas moins de 6 secondes et que le temps d'attente d'un véhicule routier à l'arrêt devant un feu au rouge ne soit pas supérieur à 120 secondes.

Les différentes phases sont séparées par des inter-phases devant permettre aux usagers d'achever en sécurité les mouvements qu'ils ont pu engager avant que la phase suivante ne soit enclenchée. Ces « *temps de dégagement* » du carrefour sont calculés pour chaque mouvement autorisé et constituent la « *matrice de sécurité* » de l'intersection.

### **2.2.2 - La prise en compte des rames de tramway**

Tant qu'aucune rame n'est détectée en amont de l'intersection concernée, le contrôleur de carrefour autorise successivement les seules phases routières, sans tenir compte des phases propres au tramway. Tous les feux R17 sont donc à l'horizontal, quel que soit l'état des feux routiers.

Lorsqu'une rame est détectée en approche de l'intersection, le contrôleur de carrefour insère dans le cycle en cours une phase permettant le passage du tramway.

Cette phase est introduite de telle sorte que le feu R17 soit au vertical avant que la rame n'arrive au carrefour, afin qu'elle n'ait pas besoin d'attendre devant un feu à l'horizontal. Pour cela, le contrôleur de carrefour peut soit prolonger soit raccourcir la durée de la phase routière en cours et ajuster corrélativement, si besoin est, la durée de la phase routière suivante.

Appliqué à chaque intersection, ce fonctionnement des contrôleurs de carrefour permet de donner la priorité aux rames de tramway sur toute la ligne.

### **2.2.3 - Les dispositifs de détection des rames de tramway**

Pour détecter l'approche d'une rame, plusieurs boucles sont implantées dans la plateforme du tramway. Ainsi :

- une boucle dite « *lointaine* » permet au contrôleur de carrefour d'initier le processus de prise en compte de la rame concernée. Il déclenche alors un compte à rebours, appelé « *délai d'approche* » (DA) dont la valeur représente la durée théorique nécessaire à la rame pour atteindre le feu R17, et adapte parallèlement, si besoin est, la durée des phases routières ainsi qu'il l'a été indiqué au chapitre précédent. Pour le carrefour Ferragu/Berthelot, cette boucle est située à la station « *Bustièrre* » et le délai d'approche est de 33 secondes ;
- une ou plusieurs boucles dites « *intermédiaires* » permettent au contrôleur de carrefour d'évaluer le retard ou l'avance de la rame par rapport à son parcours théorique, de recalculer le délai d'approche en conséquence et de modifier, si nécessaire, la durée des phases routières pour y insérer au mieux la phase de tramway ;
- une boucle dite « *pied de feu* » (PdF) implantée généralement à une dizaine de mètres en amont du R17 permet au contrôleur de carrefour d'avoir confirmation de l'arrivée de la rame au droit de l'intersection concernée<sup>1</sup>.

Le fonctionnement de ces différentes boucles repose sur une détection dite « *sélective* » des signaux émis par des transpondeurs placés sous les rames de tramway.

---

<sup>1</sup> Sur certains carrefours étendus, une boucle dite « *d'acquiescement* » placée à leur sortie permet au contrôleur de clore au plus tôt la phase propre au tramway après le passage de la rame. Cette boucle n'est pas présente sur le carrefour Berthelot/Ferragu.

Certaines rames<sup>2</sup> ne sont toutefois pas équipées d'un transpondeur. Afin de pallier cette situation ainsi que tout dysfonctionnement de la prise en compte d'une rame par le contrôleur de carrefour, la boucle « *pied de feu* » est complétée par une détection dite « *passive* » ou « *magnétique* » des masses métalliques qui, lorsqu'elle est activée pendant plus de 10 secondes<sup>3</sup>, déclenche l'insertion d'une phase spécifique au tramway dans le cycle des phases routières en cours.

Ce dispositif « *magnétique* » ne distingue cependant pas la nature des masses métalliques qui peuvent l'activer. Ainsi, dans le cas d'un site banal comme celui de la rue René-Ferragu, un véhicule routier arrêté pendant plus de 10 secondes sur la boucle « *pied de feu* » ou plusieurs véhicules routiers peu espacés circulant sur cette boucle provoquent une modification du cycle de feux pour y introduire le passage au vertical du feu R17.

#### **2.2.4 - Le signal d'aide à la conduite (SAC) des rames de tramway**

En complément de ce dispositif de priorité aux feux, et afin d'améliorer le confort des voyageurs, deux dispositions techniques visent à éviter qu'un conducteur freine inutilement devant un feu R17 dont le passage au vertical est imminent.

D'une part, le feu R17 est doté d'un signal triangulaire lumineux d'aide à la conduite (SAC) qui indique au conducteur concerné :

- lorsqu'il clignote à l'orange, que la rame a bien été détectée par le contrôleur de carrefour. Cette information est donnée très en amont, dès que la rame est au niveau de la boucle de détection « *lointaine* ». Il s'agit de la fonction « *prise en compte* » ;
- lorsqu'il bascule de l'orange clignotant à l'orange fixe, que le feu R17 passera au vertical dans 3 secondes. Il s'agit alors de la fonction « *annonce du vertical* » ;
- lorsqu'il s'éteint et que le feu R17 est au vertical, que ce feu passera au disque 5 secondes après. Il s'agit alors de la fonction « *annonce du disque* » ;
- lorsqu'il est éteint et que le feu R17 est à l'horizontal, que la rame n'a pas été prise en compte par le contrôleur de carrefour.

D'autre part, le contrôleur de carrefour est paramétré de manière à ce que le feu R17 passe au vertical un temps théorique minimum déterminé avant que la rame ne le franchisse. Il s'agit du « *temps d'avant vert* ».

### **2.3 - Les rames de tramway**

Le parc de véhicules utilisé pour l'exploitation de la ligne A du tramway d'Orléans comprend 22 rames de la gamme Citadis 301 du constructeur Alstom. Ces rames ont une longueur de 29,9 m, une largeur de 2,3 m et une masse à vide de 36,5 t. Elles se composent de 3 caisses articulées, portées par 2 bogies moteurs situés sous les caisses d'extrémité et par un bogie porteur situé sous la caisse centrale. Leur capacité est de 40 places assises et de 136 places debout sur la base d'une moyenne de 4 voyageurs par mètre carré. Leur vitesse maximale est de 80 km/h.

---

<sup>2</sup> C'est généralement le cas des véhicules de maintenance circulant sur la plate-forme.

<sup>3</sup> Cette temporisation est paramétrable dans le contrôleur de carrefour.



Fig. 4 : Photo d'une rame Citadis 301 de la ligne A du tramway d'Orléans

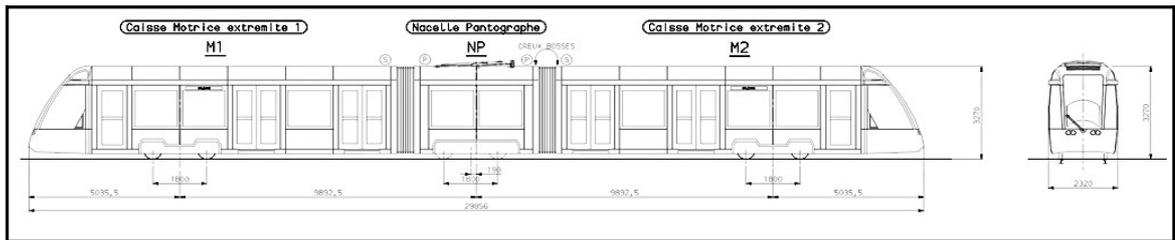


Fig. 5 : Diagramme d'une rame Citadis 301 de la ligne A du tramway d'Orléans

## 2.4 - Le réseau de transport interurbain du département du Loiret

Le réseau de transport interurbain du département du Loiret, commercialement dénommé « Ulys », comprend 24 lignes régulières d'autocars desservant 1 150 arrêts, 27 lignes de transport à la demande et des services de transport scolaire. L'autorité organisatrice des transports en est le Conseil général du Loiret.

L'exploitation de ce réseau est assurée depuis 2009 par le groupement Odulys, dans le cadre d'une délégation de service public conclue pour une durée de 12 ans.

Au sein de ce groupement Odulys, la ligne régulière n° 20 est exploitée par la société des cars Dunois. Elle relie la gare routière d'Orléans à Pithiviers et à Bazoche-les-Gallerandes selon deux itinéraires. En fonction des jours de la semaine, 4 à 20 services y sont effectués depuis Orléans entre 6h et 19h30.



Fig. 6 : Itinéraires de la ligne régulière Ulys n° 20

L'autocar impliqué dans l'accident appartient à la gamme S416UL du constructeur SETRA. Sa longueur est de 13,04 m, sa largeur de 2,55 m, son poids total autorisé en charge (PTAC) de 19,25 t.



Fig. 7 : Photo d'un autocar de la gamme S416UL du constructeur SETRA

## **3 - Compte rendu des investigations effectuées**

### **3.1 - Les résumés des témoignages**

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

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

Le conducteur de l'autocar effectuait un service express, entre Orléans et Pithiviers, sur la ligne 20 du réseau de transport interurbain « Ulys ». Il est parti à 17h35 de la gare d'Orléans. Son prochain arrêt était prévu à Chilleurs-aux-Bois (45). La circulation était fluide.

Il a emprunté la rue Marcelin-Berthelot du sud vers le nord. À l'intersection de cette rue avec la rue René-Ferragu, il s'est arrêté devant le feu de signalisation lumineuse qui était au rouge. Sur sa gauche, un bâtiment masque la ligne de tramway. Il a redémarré en première lorsque le feu est passé au vert et s'est engagé dans le carrefour. Il a alors vu une rame de tramway arriver sur sa gauche. Il n'a pas eu le temps de freiner. La rame a percuté l'avant gauche de son autocar. Il estime que sa vitesse s'élevait au maximum à 25 km/h au moment du choc.

#### **3.1.2 - *Les témoignages de tiers et de passagers concernant l'autocar***

La conductrice de la voiture qui se trouvait juste derrière l'autocar et l'un des passagers de cet autocar confirment qu'il s'est arrêté au feu rouge et a redémarré au feu vert avant d'être percuté par la rame de tramway.

Le conducteur de la voiture qui était arrêtée rue Marcelin-Berthelot, au nord du carrefour, devant le feu situé dans le sens de circulation opposé à celui de l'autocar, précise que ce feu était vert lorsqu'il a vu l'autocar rouler à faible allure pour traverser l'intersection. Il attendait que cet autocar l'ait franchi pour tourner à gauche quand il a entendu le carillon du tramway, puis a vu la rame percuter l'autocar.

Une piétonne qui s'apprêtait à traverser la rue Marcelin-Berthelot au sud de l'intersection considérée indique que la figurine lumineuse du feu se trouvant dans le sens de sa marche était au rouge lorsqu'elle a vu l'autocar passer devant elle à allure modérée, avant qu'il ne soit percuté par la rame de tramway. Elle en déduit que le feu tricolore était au vert pour l'autocar.

### **3.1.3 - Le témoignage du conducteur de la rame de tramway**

Le conducteur de la rame de tramway se dirigeait vers le terminus « Jules Verne ». Il était « dans ses horaires ». Après avoir quitté la station « Bustière », et avant d'entrer dans le site banal de la rue René-Ferragu, il a franchi un premier feu R17 qui était au vertical et dont le signal d'aide à la conduite était allumé à l'orange fixe.

Il est ensuite entré dans le site banal de la rue René-Ferragu et a vu, de loin, que le carrefour avec la rue Marcelin-Berthelot était libre de toute circulation. Il a, en outre, aperçu le triangle du signal d'aide à la conduite correspondant clignoter. Tout lui semblait être comme à l'accoutumée.

Il ne peut pas garantir que le feu R17 de ce carrefour était bien au vertical lorsqu'il est passé devant lui. Juste après l'avoir franchi, il a vu surgir un autocar de couleur jaune, dont le conducteur semblait regarder sur la droite. Il a été surpris, a klaxonné et déclenché le freinage d'urgence, mais il n'a pas pu éviter le choc.

### **3.1.4 - Les témoignages de passagers de la rame de tramway**

Un passager se trouvant à l'avant de la rame de tramway affirme avoir vu le feu R17 du carrefour Berthelot/Ferragu au vertical lorsque la rame l'a franchi.

Un autre passager, situé également à l'avant de la rame, deux rangées derrière le conducteur, indique que le feu R17 précité était à l'horizontal lorsque la rame a abordé l'intersection et que le conducteur a ralenti mais ne s'est pas arrêté.

Ce passager est monté dans la rame dix stations avant le lieu de l'accident et a constaté qu'à chaque intersection, le conducteur anticipait ainsi d'une à deux secondes le passage au vertical des feux R17.

## **3.2 - Les constatations faites sur les matériels, les conducteurs et les installations**

Le graphique ci-dessous visualise les positions de la rame de tramway et de l'autocar après l'accident.

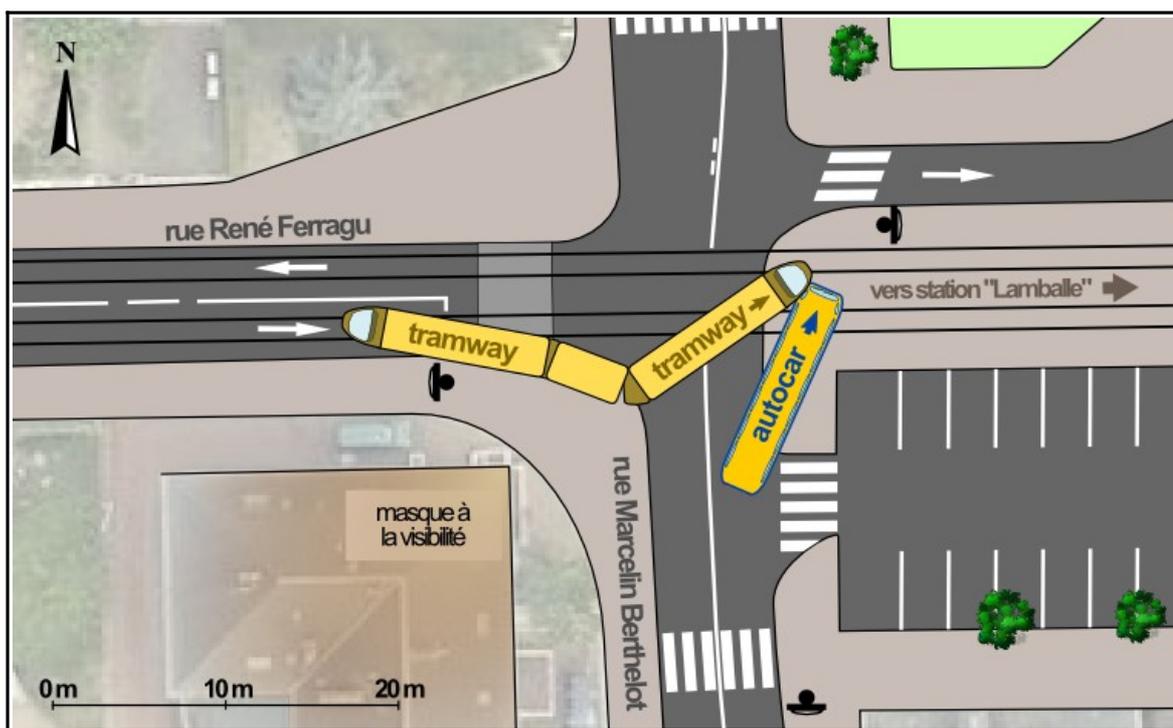


Fig. 8 : Position des véhicules après l'accident

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

Au moment de l'accident, la rame de tramway circulait avec sa caisse motrice M2<sup>4</sup> située à l'avant dans le sens de la marche.

Lors de la collision, cette rame s'est mise « *en portefeuille* » : son bogie avant a déraillé et sa cabine de conduite s'est déportée latéralement d'environ deux mètres sur la gauche, empiétant sur la voie adjacente ; son bogie porteur central a également déraillé et s'est déporté vers la droite sur quelque deux mètres, se retrouvant ainsi en totalité sur le trottoir bordant la rue René-Ferragu ; son bogie moteur arrière est, pour sa part, resté sur les rails. Au total, cette rame a subi des dégâts importants :

- le châssis de sa caisse motrice M2, son carénage, les vitrages de sa cabine de conduite ainsi qu'une partie de ses aménagements intérieurs ont été détériorés ;
- l'articulation entre sa caisse centrale et la caisse M2 a rompu et le soufflet d'intercirculation en a été désolidarisé. Celle reliant la caisse centrale à la caisse M1 a été endommagée ;
- le bogie moteur M2 a été détérioré ;
- quelques équipements embarqués et quelques câblages ont été détruits.

4 La composition des rames Citadis 301 de la ligne A du tramway d'Orléans est détaillée figure 5.



*Fig. 9 : Dégâts subis par la rame de tramway accidentée*



*Fig. 10 : Articulation et soufflet d'intercirculation endommagés*

Cette rame, qui porte le numéro 39, a été mise en exploitation commerciale lors de la mise en service de la ligne en novembre 2000. Elle avait 650 064 km au moment de l'accident. L'examen de sa dernière visite de maintenance, réalisée le 20 juin 2012 et correspondant à la visite périodique dite des « 15 000 km », ne révèle pas d'anomalie en lien avec l'accident.

Le conducteur de cette rame était âgé de 29 ans lors de l'accident. La société SETAO l'avait habilité à conduire les tramways en novembre 2007, puis l'avait suspendu en septembre 2008 à la suite d'un déraillement survenu dans la zone de manœuvre située avant le terminus « Hôpital de la Source ». Une nouvelle habilitation lui avait été délivrée en février 2010 après qu'il a repassé avec succès les examens théorique et pratique nécessaires. Outre le présent accident et le déraillement susmentionné, ce conducteur a également été impliqué dans une collision avec un véhicule léger n'ayant pas respecté la signalisation tricolore.

Le jour de l'accident, ce conducteur a pris son service à 12h41 au dépôt situé à proximité du terminus « Hôpital de la Source ». Il conduisait donc depuis cinq heures et avait déjà effectué deux allers-retours. Il devait achever son service à 19h01. Le dépistage d'alcoolémie auquel il a été soumis s'est révélé négatif.

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

La société « Cars Dunois » a procédé en août 2007 à la première mise en circulation de l'autocar impliqué dans l'accident. Le dernier contrôle technique qu'il a subi avant cette collision date de janvier 2011. Il n'a pas révélé d'anomalie.

Lors de l'accident, l'avant de cet autocar a été poussé sur environ cinq mètres. Les dégâts ont été circonscrits au côté gauche de sa cabine de conduite : le châssis et la carrosserie ont été endommagés, l'essieu a été détérioré, le pare-brise et la vitre latérale ont été brisés.



*Fig. 11 : Dégâts subis par l'autocar*

Le conducteur de l'autocar au moment de l'accident est un homme alors âgé de 51 ans. Il est employé par l'entreprise « Car Dunois » depuis septembre 2008. Le jour de l'accident, il a pris son service le matin pour effectuer un trajet de 6h03 à 10h28. Il l'a repris l'après-midi et est parti de la gare d'Orléans à 17h35. Le dépistage d'alcoolémie auquel il a été soumis s'est révélé négatif.

### **3.2.3 - L'état des installations et les conditions de visibilité au droit du carrefour**

Les dégâts occasionnés aux installations sont minimes : un panneau directionnel a été arraché par l'autocar poussé par la rame, la figurine piétonne du feu de signalisation situé dans le quadrant sud-ouest du carrefour a été détériorée par la rame de tramway lorsqu'elle s'est mise en portefeuille et quelques pavés au sol ont été dégradés par le passage des essieux déraillés.

Les constatations visuelles faites immédiatement après l'accident, puis postérieurement, n'ont par ailleurs pas montré d'anomalie de fonctionnement de la signalisation lumineuse du carrefour.

La visibilité réciproque entre les rames de tramway circulant dans la rue René-Ferragu en provenant de la station « Bustière » et les véhicules routiers empruntant la rue Marcelin-Berthelot en venant du sud est limitée par un bâtiment. En outre, ainsi que l'indique le paragraphe 2.1.4 du présent rapport, la ligne d'effet du feu de signalisation routière implanté rue Marcelin-Berthelot, au sud de l'intersection, est éloignée de la plate-forme du tramway. De fait, un véhicule routier arrêté à ce feu ne voit une rame venant de sa gauche que lorsqu'elle est à moins de 20 mètres du carrefour.

## **3.3 - L'exploitation des enregistreurs**

### **3.3.1 - L'enregistrement du dispositif vidéo de l'autocar**

L'autocar accidenté est équipé de plusieurs caméras disposées à l'intérieur de son habitacle. Celle qui permet de filmer les accès par la porte avant, permet également de distinguer l'environnement extérieur, notamment, la signalisation implantée sur le trottoir de droite.

L'examen de l'enregistrement effectué par cette caméra le jour de l'accident fait ressortir que le conducteur de l'autocar, à l'approche de l'intersection entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot, s'est arrêté devant le feu de signalisation au rouge, puis a redémarré lorsque ce feu est passé au vert. Le choc s'est produit 7 secondes après.



Fig. 12 : Feu de signalisation R11v au rouge filmé juste avant l'accident depuis l'autocar arrêté rue Marcelin-Berthelot



Fig. 13 : Feu de signalisation R11v au vert filmé 2 secondes plus tard, l'autocar ayant redémarré

### 3.3.2 - Le chronotachygraphe de l'autocar

L'autocar impliqué dans l'accident est équipé d'un chronotachygraphe numérique qui enregistre notamment la vitesse du véhicule et les temps de conduite et de repos du conducteur. Son examen par la police nationale n'a révélé aucune infraction à la réglementation européenne sur les temps de conduite et de repos.

Le graphique ci-après visualise la vitesse de l'autocar en fonction du temps dans les instants qui ont précédé l'accident<sup>5</sup> :

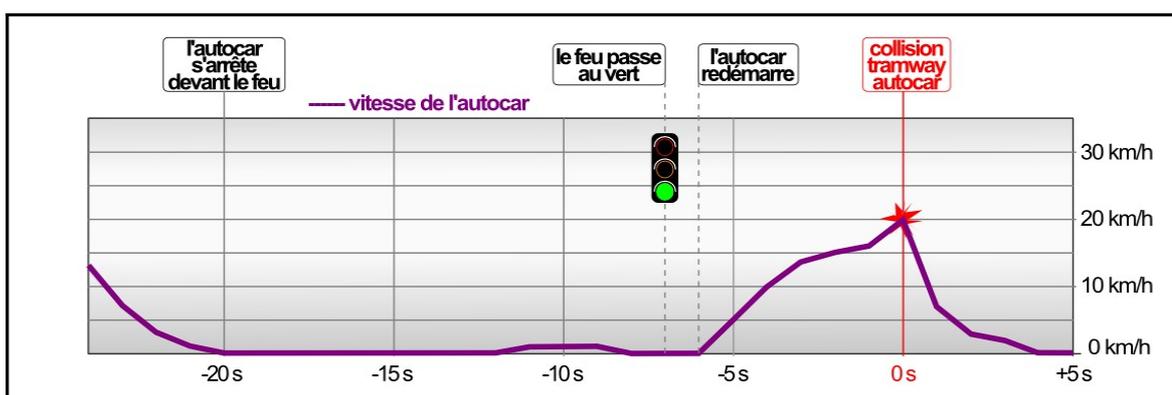


Fig. 14 : Vitesse de l'autocar en fonction du temps

<sup>5</sup> Le passage au vert du feu R11v a été placé sur le graphique à partir des informations issues de l'enregistrement des caméras équipant l'autocar.

Il en ressort que l'autocar s'est arrêté devant le feu R11v de la rue Marcelin-Berthelot 20 secondes avant le choc. Il en a redémarré 6 secondes avant ce choc, et a été percuté par la rame de tramway alors qu'il avait atteint une vitesse de 20 km/h. La courbe ne montre aucune décélération avant la collision.

### 3.3.3 - L'enregistrement vidéo de la rame de tramway

Chaque rame de tramway du réseau d'Orléans dispose de caméras qui en filment l'intérieur ; elles permettent également de distinguer l'environnement extérieur. Cependant, étant positionnées au niveau du plafond, elles sont orientées vers le bas et ne permettent pas de distinguer les feux de signalisation sur toute leur hauteur. Seuls sont visibles les répéteurs de feux et les feux piétons. En particulier, les feux R17, qui ne possèdent pas de répéteur, ne peuvent pas être perçus sur les enregistrements effectués par ces caméras.

L'examen de ces enregistrements vidéo permet d'établir les faits et la chronologie suivante :

Heure	Temps avant le choc	Événement
17h39'53"500	-58 s	La rame arrive à la station « Bustière ». Sur la voie adjacente, une autre rame est arrêtée en station
17h40'08"500	-43 s	La rame part de la station « Bustière »
17h40'42"000	-9,5 s	La rame s'engage dans le site banal de la rue Ferragu
17h40'49"000	-2,5 s	L'autocar devient visible sur l'enregistrement vidéo
17h40'51"500	0 s	La rame et l'autocar se percutent
17h40'51"875	+0,4 s	Le répéteur du feu R11v de la rue Ferragu est visible et est au rouge
17h40'52"125	+0,6 s	Le répéteur du feu R11v et la figurine piétonne de la rue Ferragu sont visibles et sont au rouge
17h40'53"750	+2,25 s	La rame s'arrête

Fig. 15 : Éléments de chronologie issus des enregistrements vidéo de la rame



Fig. 16 : Vue prise depuis la rame 2,25 s avant le choc



Fig. 17 : Vue prise depuis la rame 0,625 s après le choc

### 3.3.4 - La bande tachymétrique de la rame de tramway

Les rames de tramway sont dotées d'un dispositif enregistrant certains paramètres d'exploitation, et notamment la distance parcourue, la vitesse de la rame, l'activation, par le conducteur, de la traction, du freinage de service ou du freinage d'urgence, l'actionnement de l'avertisseur sonore. Cet enregistreur est communément appelé « bande tachymétrique ».

Le graphique ci-après précise la vitesse de la rame en fonction de sa localisation entre la station « Bustière » et le carrefour où l'accident s'est produit.



Fig. 18 : Vitesse de la rame depuis son départ de la station « Bustière »

Une distance de 260 mètres sépare la station « Bustière » du lieu du choc, que la rame a parcourue en 43 secondes. En régime stabilisé, le conducteur respecte la vitesse maximale autorisée. En revanche, il diffère l'application des diminutions de cette vitesse autorisée et, *a contrario*, en anticipe, de manière assez significative, les augmentations.

La figure ci-dessous détaille la vitesse de la rame et les actions de son conducteur dans les secondes précédant le choc, alors qu'elle se trouve dans le site banal de la rue René-Ferragu. La position de l'autocar à différents instants a été reconstituée à partir des informations issues de son chronotachygraphe.

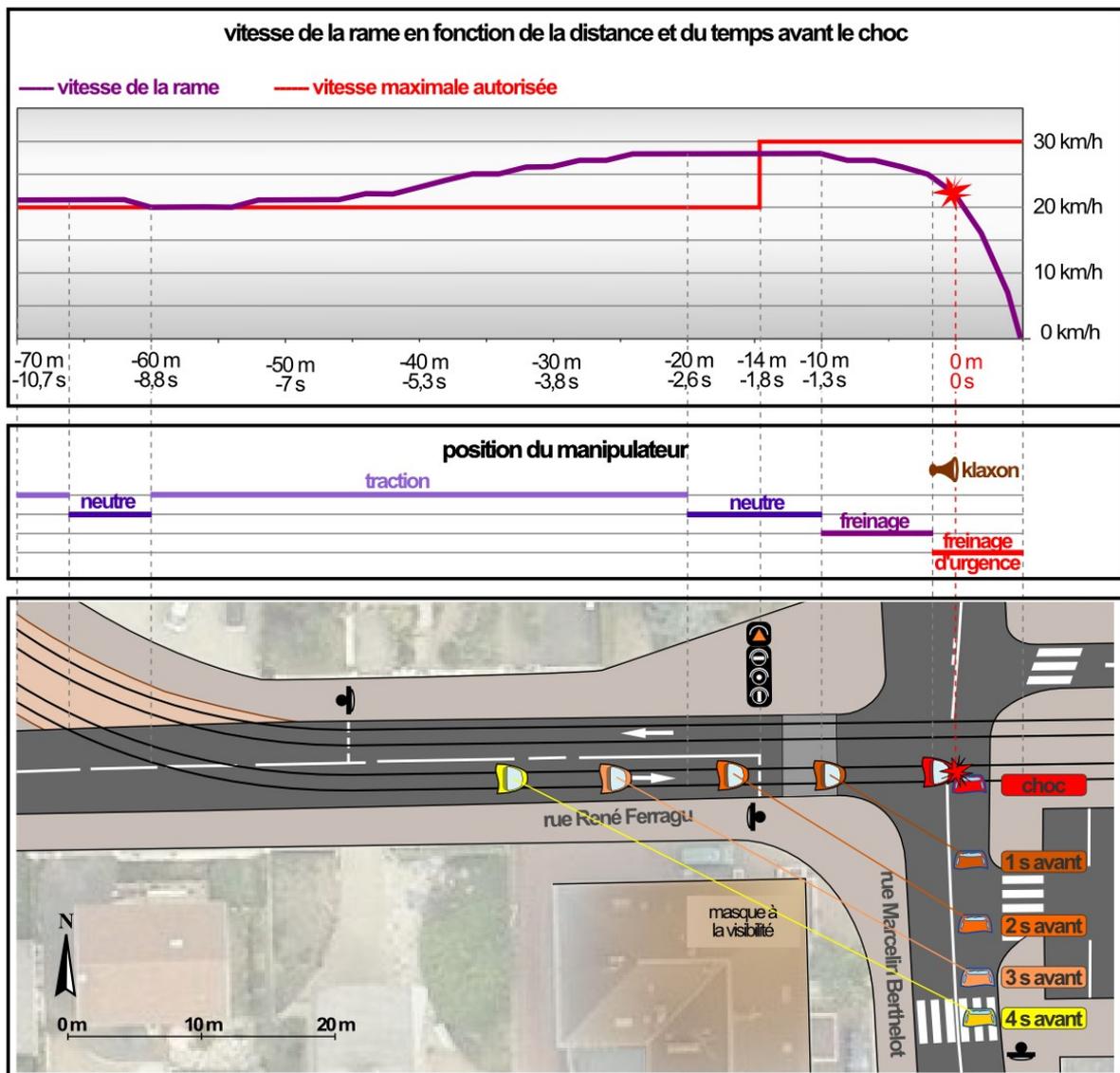


Fig 19 : Vitesse de la rame et actions du conducteur à l'approche du carrefour

Il en ressort les éléments de chronologie suivants :

- 10 secondes environ avant le choc, le conducteur de la rame entre dans le site banal de la rue René-Ferragu. Il a placé son manipulateur de traction-freinage au neutre. L'autocar est à l'arrêt devant le feu R11v, masqué par le bâtiment d'angle ;
- 8,8 secondes avant le choc, juste après être entré dans le site banal, le conducteur de la rame accélère. Cette accélération, qui peut être évaluée à  $0,6 \text{ m/s}^2$ , permet d'estimer que son manipulateur est alors placé à mi-traction ;
- environ 3 secondes avant le choc, le bâtiment d'angle ne fait plus obstacle à la visibilité réciproque entre la rame et l'autocar. La rame est en phase d'accélération, à 12 mètres du feu R17 et à 26 mètres du lieu de la collision ;
- 2,6 secondes avant le choc, le conducteur de la rame place son manipulateur au neutre afin de stabiliser sa vitesse à 28 km/h. La rame est à 6 mètres du feu R17 et à 20 mètres du lieu de la collision ;
- 1,8 secondes avant le choc, la rame franchit le feu R17. Elle est à 14 mètres du lieu de la collision, son manipulateur est toujours au neutre et sa vitesse n'a pas varié ;

- 1,3 secondes avant le choc, le conducteur de la rame place son manipulateur en position de freinage de service. Il est dans le carrefour, à 10 mètres du lieu de la collision ;
- quelques dixièmes de seconde avant le choc, à deux mètres du lieu de la collision, le conducteur de la rame klaxonne et enclenche le freinage d'urgence ;
- le choc a lieu alors que la vitesse de la rame est de 23 km/h.

Entre le déclenchement du freinage d'urgence et l'arrêt de la rame, la décélération moyenne  $\gamma_{FU}$  s'élève à 3,4 m/s<sup>2</sup>. Cette valeur est supérieure à la décélération d'urgence minimale de 2,85 m/s<sup>2</sup> spécifiée par l'AOT lors de la commande du matériel roulant.

### 3.3.5 - L'enregistreur des défauts du contrôleur de carrefour

Les défauts du contrôleur de carrefour sont détectés et mémorisés automatiquement. Le journal de bord informatique correspondant ne fait état d'aucun défaut majeur ou mineur, tant avant qu'immédiatement après l'accident.

## 3.4 - L'examen du dossier de conception du contrôleur de carrefour et la reconstitution de l'état des feux lors de l'accident

### 3.4.1 - Le fonctionnement théorique du contrôleur de carrefour en l'absence de tramway

Tant qu'aucune rame n'est détectée, le feu R17 est continuellement à l'horizontal et le signal d'aide à la conduite (SAC) est éteint. Le contrôleur de carrefour déroule alors le cycle de fonctionnement de la signalisation lumineuse routière selon le diagramme ci-après.

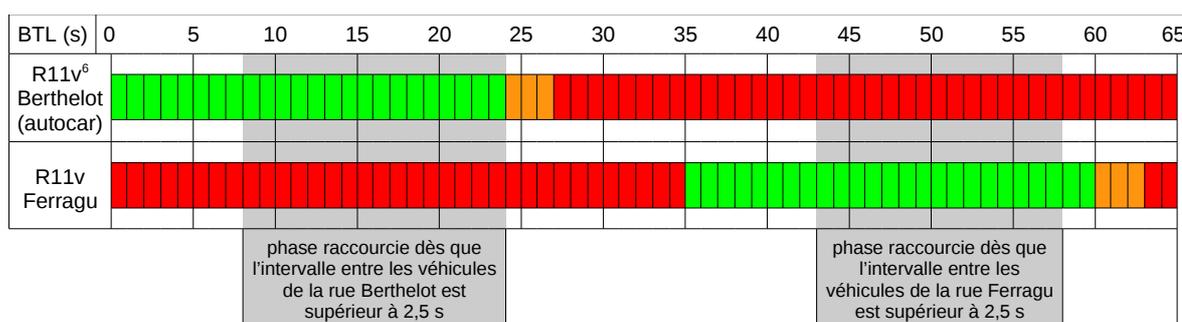


Fig. 20 : Diagramme de fonctionnement de la signalisation lumineuse en l'absence de tramway

Chaque cycle comprend classiquement deux phases, l'une autorisant le passage des véhicules de la rue Marcelin-Berthelot, l'autre autorisant le mouvement des véhicules de la rue René-Ferragu. Le contrôleur est doté d'une micro-régulation qui adapte les durées des phases de vert à l'importance du trafic routier. La durée d'un cycle peut ainsi varier de 34 secondes, lorsque les véhicules sont espacés de plus de 2,5 secondes dans chacune des deux rues, à 65 secondes en période d'affluence.

6 Par souci de lisibilité, l'état du feu R11v implanté sur la section nord de la rue Marcelin-Berthelot n'a pas été représenté. Il n'est, en effet, pas strictement identique à l'état du feu R11v situé sur le tronçon sud de cette rue : sa phase de vert dure 5 secondes de plus afin de permettre l'écoulement de véhicules tournant à gauche.

### 3.4.2 - Le fonctionnement théorique du contrôleur de carrefour en présence d'une rame

Quand une rame de tramway quitte la station « Bustière », elle libère la boucle de détection « lointaine » qui y est implantée. Le contrôleur de carrefour cale alors à 33 secondes le délai d'approche (DA) de cette rame, c'est-à-dire le temps à l'issue duquel elle devrait théoriquement atteindre le feu R17 situé à l'intersection avec la rue Marcelin-Berthelot, puis il en engage le décompte.

Simultanément, le signal d'aide à la conduite (SAC) se met à clignoter afin d'indiquer au conducteur que le contrôleur de carrefour l'a bien pris en compte et qu'il lui donnera la priorité lorsqu'il arrivera devant le feu R17 précité si toutes les autres conditions sont réunies par ailleurs. Pour cela, ce contrôleur diminue ou augmente la durée des phases de vert selon le diagramme simplifié de fonctionnement suivant :

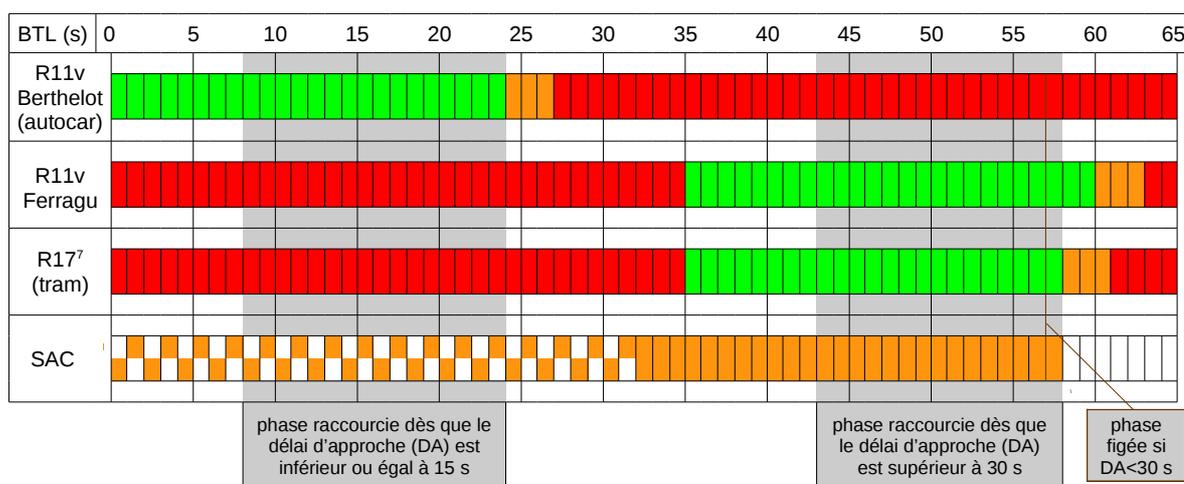


Fig. 21 : Diagramme de fonctionnement de la signalisation lumineuse en présence d'une rame

La lecture de ce diagramme<sup>8</sup> montre que, quel que soit l'état d'avancement du cycle routier au moment où la rame est détectée lors de son départ de la station « Bustière », le

7 Par commodité, les états « vertical », « disque » et « horizontal » du feu R17 sont représentés par les couleurs verte, jaune et rouge correspondant aux mêmes significations qu'un feu routier.

8 Ce diagramme se lit ainsi : la base de temps local (BTL) représente le déroulement du cycle de feux. Elle s'incrémente d'une unité à chaque seconde, et recommence à zéro quand sa valeur atteint 65. Lorsqu'une rame est détectée à la station « Bustière », le cycle de feux routiers peut naturellement être à n'importe quel endroit de son déroulement et la BTL a alors la valeur correspondante. Le délai d'approche (DA) de la rame se cale à la valeur initiale de 33 secondes. Chaque seconde passant, la BTL s'incrémente et le DA diminue. Lorsque la BTL arrive dans l'une des zones grisées du diagramme, si le DA respecte la condition correspondante, la phase est alors raccourcie, c'est-à-dire que la BTL saute directement à la valeur correspondant à la fin de la zone grisée. Lorsque la BTL arrive à la valeur 57, si le DA est inférieur à 30 secondes, le déroulement se fige et la BTL arrête son incrémentation jusqu'au passage de la rame. On peut ainsi vérifier que, quelle que soit la valeur initiale de la BTL, 33 secondes plus tard, cette valeur sera comprise entre 39 et 57, correspondant à un feu R17 au vertical.

Ainsi, si la rame est détectée à son départ de la station « Bustière » alors que le feu R11v de la rue Ferragu vient de passer au rouge, la BTL a la valeur 63. Le signal d'aide à la conduite se met à clignoter et le DA se cale à sa valeur initiale de 33 secondes. La chronologie est ensuite la suivante :

- 2 secondes plus tard, la BTL atteint sa valeur maximale de 65 (63+2). Elle se remet donc à zéro. Le DA est à 31 secondes (33-2) ;
- 16 secondes après, la BTL est à 16 (0+16) et le DA est à 15 (31-16) correspondant à la condition de la première zone grisée : la BTL saute alors instantanément à 24. Le feu R11v de la rue Berthelot passe à l'orange ;
- 3 secondes après, la BTL est à 27 (24+3) et le DA à 12 (15-3). Le feu R11v de la rue Berthelot passe au rouge ;
- 5 secondes après, la BTL est à 32 (27+5) et le DA à 7 secondes (12-5) : le signal d'aide à la conduite devient fixe ;
- 3 secondes après, la BTL est à 35 (32+3) et le DA à 4 secondes (7-3) : le feu R11v de la rue Ferragu passe au vert et le feu R17 passe au vertical.

signal d'aide à la conduite passe à l'orange fixe 3 secondes avant que le feu R17 n'indique la position verticale autorisant son franchissement.

Cette lecture permet également de constater que, dès lors que la rame détectée à la station « Bustière » met effectivement 33 secondes pour franchir la distance séparant cette station du feu R17, ce feu passe au vertical au moins quatre secondes avant que la rame concernée ne l'atteigne. Selon l'état d'avancement du cycle routier au moment où cette rame a libéré la boucle de détection « lointaine », ce temps d'avant vert peut atteindre, voir excéder, 22 secondes.

D'une manière générale, sur les autres carrefours où la vitesse d'approche des rames de tramway est limitée à 20 km/h, le temps d'avant vert minimal est fixé à une seconde. Il a volontairement été porté à 4 secondes au droit de l'intersection entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot afin de permettre l'écoulement, avant l'arrivée de la rame de tramway, des éventuels véhicules routiers arrêtés devant le feu R11v implanté à la sortie du site banal.

### 3.4.3 - Le recalage des phases de feux en fonction de l'avancement de la rame

Le contrôleur de carrefour effectue deux recalages du délai d'approche au cours du déplacement de la rame, afin de lui permettre de conserver la priorité au feu lorsqu'elle parcourt la distance entre la station « Bustière » et le feu R17 concerné en un temps différent des 33 secondes théoriquement retenues à la conception.

Le tableau ci-après indique à quelle distance de la station « Bustière » ces recalages sont effectués et compare les temps de parcours respectifs d'une rame circulant conformément à la programmation du contrôleur, d'une rame respectant strictement les limitations de vitesse imposées et de la rame 39 impliquée dans l'accident.

		Départ de la station « Bustière »	1 <sup>er</sup> recalage : engagement de la boucle intermédiaire	2 <sup>e</sup> recalage : dégagement de la boucle intermédiaire	Franchissement du R17
Distance par rapport à la station « Bustière »		0 m	167 m	197 m	245 m
Temps de parcours	retenu dans la programmation du contrôleur de carrefour	0 s	22 s	26 s	33 s
	d'une rame respectant les limitations de vitesse <sup>9</sup>	0 s	30 s	34 s	44 s
	de la rame 39 accidentée	0 s	28 s	32 s	41 s

Fig. 22 : Comparaison des temps de parcours théoriques et réels entre la station « Bustière » et le feu R17

Les rames respectant les limitations de vitesse précitées mettent ainsi 11 secondes de plus que le temps retenu dans la programmation du contrôleur de carrefour pour franchir la distance séparant la station « Bustière » du feu R17 situé à l'intersection avec la rue Marcelin-Berthelot. Elles font donc jouer systématiquement et notablement la fonction de recalage permettant de maintenir leur priorité au feu.

9 Le calcul a été effectué en retenant une accélération et une décélération de 1 m/s<sup>2</sup>

De fait, dans certains cas, la phase de feu dédiée au tramway aura même pu commencer avant même que la rame n'entre dans le site banal de la rue René-Ferragu. Cette phase ne pouvant dépasser une durée paramétrée dans le contrôleur de carrefour, il pourra arriver que le feu R17 revienne à l'horizontal avant que la rame concernée ne le franchisse.<sup>10</sup>

#### **3.4.4 - L'état reconstitué des feux de signalisation lors de l'accident**

L'algorithme régissant le contrôleur de carrefour au moment de l'accident était conforme à celui figurant dans son dossier de conception.

L'enregistrement provenant du dispositif vidéo équipant l'autocar montre que le feu R11v de la rue Marcelin-Berthelot est passé du rouge au vert 7 secondes avant le choc. L'état des feux durant la dizaine de secondes précédant ce choc peut ainsi être reconstitué aisément à partir du diagramme de la figure 21.

L'enregistrement vidéo issu de la rame 39 impliquée dans l'accident montre que le feu R11v de la rue René-Ferragu et sa figurine piétonne sont simultanément au rouge une seconde environ après le choc. Cette situation particulière des feux permet de reconstituer leur état après le choc.

Le schéma en figure 23 récapitule la reconstitution ainsi effectuée.

Il en ressort que lorsque la rame 39 entre dans le site banal de la rue René-Ferragu, environ 9 secondes avant le choc, le carrefour est « *au rouge intégral* », c'est-à-dire que tous les feux R11v et R17 sont respectivement au rouge et à l'horizontal. Le cycle se déroule ensuite ainsi qu'il suit :

- 7 secondes avant le choc, le feu R11v de la rue Marcelin-Berthelot passe au vert et l'autocar s'apprête à redémarrer ;
- 1,8 secondes avant le choc, la rame de tramway franchit le feu R17 toujours à l'horizontal ;
- au moment du choc, les feux R17 et R11v de la rue René-Ferragu sont encore respectivement à l'horizontal et au rouge. Le feu R11v de la rue Marcelin-Berthelot est au vert ;
- 1 seconde après le choc, le feu R11v de la rue Marcelin-Berthelot passe à l'orange, puis, trois secondes plus tard, au rouge ;
- 12 secondes après le choc, le feu R17 de la rue René-Ferragu passe au vertical.

Le signal d'aide à la conduite est, par conception, passé à l'orange fixe trois secondes avant que le feu R17 se mette au vertical. Il n'a pas été possible aux enquêteurs de déterminer avec certitude s'il était antérieurement clignotant ou éteint. La représentation de son clignotement sur la figure 23 s'appuie sur le témoignage du conducteur de la rame de tramway incriminée.

---

<sup>10</sup> Ce cas de figure a pu être observé par les enquêteurs sur le site. Les rames susceptibles d'être confrontées à ce scénario sont celles qui quittent la station « Bustière » alors que la BTL est aux environs de 35-40 et qui mettent plus d'une quarantaine de secondes avant d'arriver au feu R17.

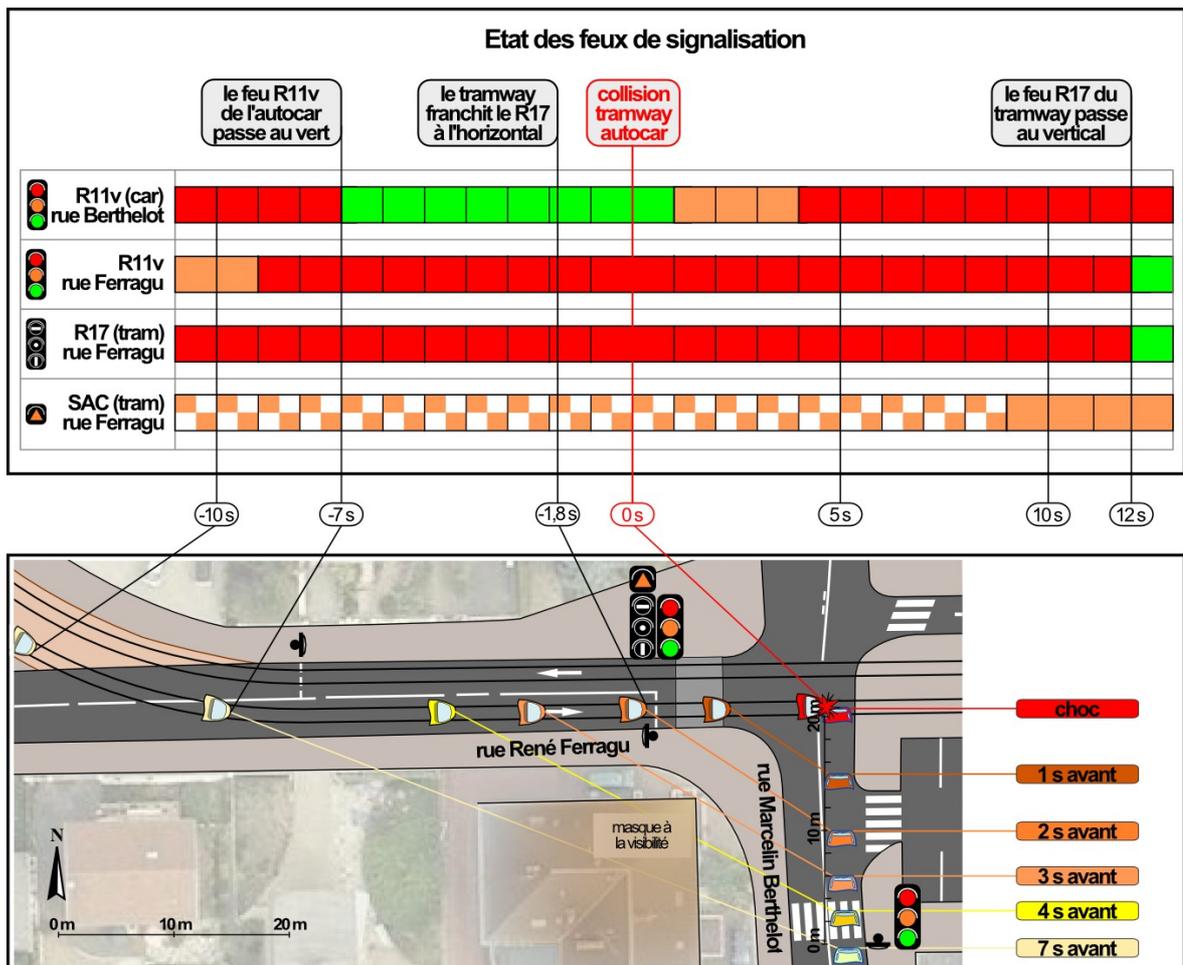


Fig. 23 : Reconstitution de l'état des feux de signalisation avant et après l'accident

Cette reconstitution montre :

- d'une part, que le contrôleur de carrefour n'a pas donné la priorité au feu à la rame 39 lorsqu'elle approchait de l'intersection. Le paragraphe 3.4.5 ci-après expose les hypothèses susceptibles d'expliquer ce fait ;
- d'autre part, que le conducteur de la rame 39 a franchi le feu R17 alors qu'il était à l'horizontal depuis au moins 10 secondes et qu'il est resté dans cette position pendant les 14 secondes suivantes. Le chapitre 3.5 présente les investigations réalisées pour identifier les éventuels facteurs ayant pu conduire à ce comportement.

### 3.4.5 - Les hypothèses susceptibles d'expliquer la position à l'horizontal du feu R17 lors de l'approche de la rame impliquée

Le contrôleur de carrefour n'a pas déclenché le passage au vertical du feu R17 lorsque la rame 39 approchait de l'intersection. En mode nominal, ce contrôleur peut ne pas être en mesure de garantir la priorité au feu d'une rame lorsque celle-ci :

- soit, présente une avance ou un retard très important par rapport à la marche type programmée<sup>11</sup>. En particulier, lorsque le retard est trop important, le feu R17 peut

<sup>11</sup> Il s'agit de la marche type sur les 250 mètres entre la boucle « lointaine » et le feu R17 et non pas la marche type définissant les heures de passage dans les différentes stations de la ligne.

passer au disque, puis trois secondes plus tard à l'horizontal avant que la rame concernée ne l'atteigne. Toutefois, lorsqu'il en est ainsi, la durée totale des deux états, disque et horizontal, précédant immédiatement l'arrivée de la rame au droit du feu R17 est nécessairement inférieure au retard qu'elle présente par rapport au délai d'annonce (DA) programmé. Tel n'était pas le cas de la rame 39. En effet, la reconstitution de l'état des feux de signalisation du carrefour concerné juste avant et après l'accident, qui est détaillée dans le chapitre 3.4.4 du présent rapport, montre que le feu R17 est passé au disque au moins 12 secondes avant que la rame accidentée ne le franchisse alors qu'elle n'avait que 8 secondes de retard par rapport à sa marche théorique ;

- soit, aborde un carrefour qui vient d'être franchi par une rame circulant sur la voie adjacente, afin notamment de respecter les temps minimum et maximum de certaines phases. Dans le cas présent, l'enregistrement des caméras vidéo issu de la rame 39 ne montre aucune rame sur la voie adjacente lorsqu'elle s'approche du carrefour.

De fait, ces deux situations ne peuvent pas s'être produites lors de l'accident. Trois autres scénarios ne correspondant pas à une exploitation ou un fonctionnement habituel peuvent être envisagés :

- un véhicule routier s'est arrêté au-dessus de la boucle de détection « *pied de feu* » du feu R17 pendant plus de 10 secondes. Ainsi qu'il l'est indiqué au paragraphe 2.2.3, le contrôleur de carrefour a alors considéré qu'il s'agissait d'une rame dont le transpondeur ne fonctionnait pas et a déclenché la phase dédiée au tramway. Le feu R17 est ainsi passé au vertical, puis au disque et est revenu à l'horizontal avant que la rame 39 n'arrive. Un tel scénario a été constaté par les enquêteurs lors d'une de leur visite sur le site. Le véhicule routier était un autocar qui s'était arrêté au-dessus de la boucle de détection de la rue René-Ferragu pour laisser monter et descendre des passagers ;
- la rame 39 suivait, à moins de 80 secondes, une autre rame. Par conception, cette première rame inhibait, à chaque carrefour et pendant 80 secondes, le dispositif de priorité au feu et les rames qui la suivaient ne pouvaient pas, durant cette période, disposer d'une priorité marquée par un R17 au vertical. Ce scénario est cependant peu probable, car, vers 17 heures le jour de l'accident, les rames étaient supposées se succéder à un intervalle de 7 à 9 minutes. De plus, la main courante du poste de commandement centralisé (PCC) ne fait état d'aucun événement notable, autre que l'accident, susceptible d'avoir perturbé cette fréquence ;
- la bonne prise en compte de la rame par le contrôleur de carrefour a été perturbée par une détection fictive ou un défaut fugitif sur l'une des boucles de détection. Ce scénario ne peut pas être exclu. Les constatations et les vérifications effectuées postérieurement à l'accident n'ont cependant pas mis en évidence un tel dysfonctionnement.

## **3.5 - La conduite pratiquée par les conducteurs du tramway d'Orléans au droit des intersections**

### **3.5.1 - Les gestes appris en formation et leur suivi en exploitation**

Avant d'habiliter ses agents à la conduite des rames, la société exploitante du réseau de tramway de l'agglomération orléanaise leur délivre une formation théorique et pratique de 20 jours, sanctionnée par un examen.

Dans ce cadre, les gestes et attitudes qui leur sont enseignés pour franchir les carrefours sont les suivants :

- placer le manipulateur de traction-freinage en position de léger freinage, ou « *quart-freinage* », à l'approche de l'intersection et durant toute sa traversée. Un positionnement au neutre est cependant toléré lorsque l'intersection est vide et que le feu R17 est au vertical ;
- être attentif à l'état du signal d'aide à la conduite (SAC) et moduler le freinage de sorte à pouvoir arrêter la rame avant le carrefour tant que ce signal ne passe pas à l'orange fixe ;
- s'assurer de l'état du feu R17 ;
- durant l'approche et tout au long du franchissement de l'intersection, être vigilant aux mouvements des tiers, piétons et véhicules ;
- ne pas positionner le manipulateur précité en traction, avant que la queue de la rame ne soit engagée dans le carrefour.

La manière de franchir une intersection n'est pas formellement évaluée en tant que telle lors de l'examen de conduite pratique préalable à la délivrance de l'habilitation de conducteur. Toutefois, la vigilance, l'anticipation, le respect de la signalisation, la maîtrise de la vitesse, la maîtrise du freinage et de l'accélération sont cinq des quinze thèmes évalués<sup>12</sup>.

Une fois habilité, chaque conducteur fait l'objet d'un suivi régulier assuré par le chef de ligne qui l'accompagne en ligne trois fois par an, pendant 1h30 à 2h, afin d'observer sa manière de conduire. Ces observations sont consignées dans des fiches de suivi individuelles.

### 3.5.2 - L'examen par sondage de bandes tachymétriques

Outre celle de la rame impliquée dans l'accident, les bandes tachymétriques de quatre autres rames ont été examinées sur l'un de leurs trajets entre le terminus « Hôpital de la Source » et l'intersection des rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot. Ces rames et trajets ont été choisis par sondage en veillant à couvrir des services effectués en heure de pointe et en heure creuse, en week-end et en semaine.

Le graphique ci-après représente les profils de vitesse de ces rames entre la station « Bustière » et le carrefour précité, lors des voyages analysés.

Il apparaît tout d'abord qu'aucune de ces rames n'a anticipé la baisse de 30 km/h à 20 km/h de la vitesse maximale, imposée une cinquantaine de mètres après la station « Bustière ». Il est, toutefois, difficile d'atteindre la vitesse de 30 km/h, puis de repasser à 20 km/h sur cette distance dans des conditions de confort satisfaisantes pour les voyageurs.

En revanche, les limitations de vitesse à 20 km/h et à 30 km/h respectivement imposées en amont et en aval du feu R17 gérant le franchissement de la rue Marcelin-Berthelot en venant de la station « Bustière » sont mieux respectées. Pour deux des rames considérées, l'accélération a été très faible, vraisemblablement pour respecter la consigne de « *quart-freinage* ». Deux autres rames ont freiné, vraisemblablement parce que le feu R17 n'était pas encore au vertical, puis ont ré-accélééré durant la traversée de l'intersection.

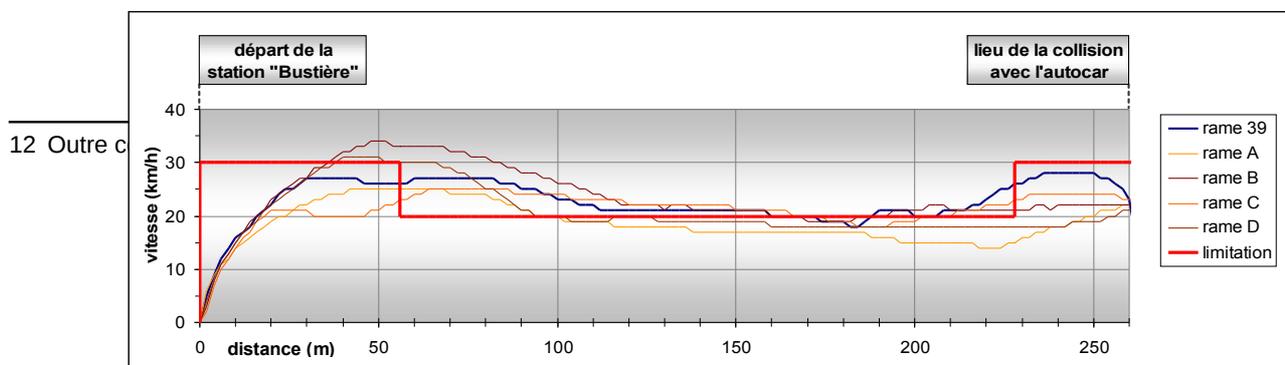


Fig. 24 : Profil des vitesses de 5 rames sur l'un de leurs trajets entre la station « Bustière » et le carrefour Ferragu/Berthelot

Les bandes tachymétriques susvisées ont également été analysées sur la totalité des 17 km séparant le terminus « Hôpital de La Source » du lieu de l'accident. Ainsi que l'indique le tableau ci-après, à l'exception d'une intersection manifestement singulière à proximité de la gare d'Orléans, le système de priorité aux feux a permis aux cinq conducteurs concernés de franchir la cinquantaine de carrefours à feux jalonnant le trajet considéré sans avoir besoin de s'arrêter devant un feu R17 à l'horizontal.

	Rame A	Rame B	Rame C	Rame D	Rame 39
Nombre d'intersections franchies après un arrêt	1 (proche gare)	1 (proche gare)	1 (proche gare)	0	1 (proche gare)

Fig. 25 : Nombre d'arrêts à des intersections entre le terminus « Hôpital de La Source » et le lieu de l'accident

### 3.5.3 - L'audition de conducteurs de tramway sur leurs pratiques

Les enquêteurs ont tenu une réunion avec cinq conducteurs du réseau de tramway de l'agglomération d'Orléans afin d'apprécier leurs pratiques de conduite au droit des intersections. Il en ressort :

- qu'ils observent les feux qui leur sont dédiés, signal d'aide à la conduite et R17, mais qu'ils portent également une attention aux feux routiers et piétons, ainsi qu'aux mouvements des véhicules. Ils savent apprécier la vitesse de leur rame et ne regardent pas systématiquement leur indicateur de vitesse. Ils ré-accélèrent une fois qu'ils sont engagés dans l'intersection. L'habitude aidant, ils ont une connaissance très fine du fonctionnement et « de la réaction » de chaque carrefour ;
- qu'ils ont confiance dans le nouveau dispositif de priorité aux feux mis en place fin 2010. Ils estiment qu'il leur permet d'avoir la priorité dans 95 % des cas, les situations où il n'en est pas ainsi étant principalement dues à la présence d'une rame circulant sur la voie adjacente. Le feu R17 passe généralement au vertical alors qu'ils sont à une dizaine de mètres de celui-ci, un peu plus pour certains carrefours ;
- que la fonction « prise en compte » du SAC, qui se traduit par le clignotement du triangle orange lorsque la rame est détectée sur une boucle « lointaine », leur permet d'approcher le carrefour avec confiance. Elle est une source de confort, mais ils ont conscience de la perte de vigilance et du « risque de routine » qu'elle est susceptible d'induire.

## 3.6 - L'incidentalité et le retour d'expérience

### 3.6.1 - L'incidentalité de la ligne A du tramway d'Orléans

Le graphique ci-après indique, pour chaque mois des années 2005 à 2011 incluses, le nombre de collisions survenues, au cours des douze mois précédents, entre une rame de la ligne A du réseau de tramway d'Orléans et un tiers. L'analyse d'un tel cumul annuel glissant permet de s'affranchir des effets de saisonnalité.



Fig. 26 : Cumul annuel glissant, entre janvier 2005 et décembre 2011, du nombre de collisions entre une rame du tramway d'Orléans et un tiers

Ce nombre de collisions a connu une diminution forte et continue entre mai 2006 et mai 2007, suivie d'une période de stabilisation jusqu'en août 2011. Il a ensuite baissé brusquement en septembre et en octobre 2010 avant de ré-augmenter progressivement jusqu'à fin 2011 pour revenir approximativement au niveau qu'il atteignait en août 2010. La baisse conjoncturelle enregistrée au début de l'automne 2010 est probablement corrélée aux travaux de modification du dispositif de priorité aux feux et des boucles de détection des rames, qui ont été réalisés à cette période.

### 3.6.2 - L'incidentalité du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot

Depuis la mise en service, en 2000, de la ligne A du tramway de l'agglomération orléanaise, outre le présent accident, quatre autres collisions entre une rame de ce tramway et un véhicule routier se sont produites au carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot à Fleury-les-Aubrais : une en 2002 et trois en 2003. Elles ont toutes été attribuées à un non-respect du feu R11v par l'automobiliste impliqué. Le BEA-TT ne dispose pas d'informations plus précises sur les circonstances dans lesquelles elles sont survenues.

### 3.6.3 - Le retour d'expérience national

L'exploitation de la base de données nationale des accidents de tramway tenue par le service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG) fait ressortir, pour les années 2006 à 2010 incluses, les données suivantes :

- au cours de ces cinq années, 2 311 collisions entre une rame et un véhicule routier ont au total été enregistrées, sur l'ensemble des réseaux en exploitation, au droit des intersections gérées par une signalisation lumineuse tricolore ;

- sur ces 2 311 collisions, 57 % a été attribuée à un non-respect du feu routier et 1 % est dû à un franchissement du feu R17 par la rame de tramway impliquée. Dans 42 % des cas, la cause n'est pas renseignée.

Ces chiffres montrent la part prépondérante des non-respects de feux routiers lors de telles collisions. Ils doivent cependant être pris avec précaution, car en l'absence d'éléments techniques ou d'enregistrements vidéo, l'exploitant du réseau de tramway qui déclare l'accident au STRMTG, s'appuie sur les témoignages des conducteurs, des voyageurs et des tiers, qui peuvent parfois être contradictoires.

Par ailleurs, pour presque la moitié des collisions considérées, la cause n'est pas identifiée avec certitude. À cet égard, dans le rapport concluant l'enquête technique conduite sur la collision entre un tramway et une voiture particulière survenue le 4 juin 2007 à Saint-Herblain en Loire-Atlantique (44), le BEA-TT a adressé au STRMTG la recommandation suivante :

*« Recommandation R9 (STRMTG) : Étudier les conditions dans lesquelles les rames de tramway pourraient être équipées d'une caméra vidéo orientée sur le territoire à franchir, et intégrer, en fonction des résultats de l'étude, cette disposition dans les préconisations des référentiels techniques ».*

La mise en œuvre de cette recommandation est largement engagée et plusieurs exploitants de réseau de tramway ont déjà doté leurs rames de telles caméras. Le service technique des remontées mécaniques et des transports guidés a, de plus, initié la rédaction d'une note récapitulative destinée à préciser les conditions d'utilisation de ces caméras et à expliciter les démarches à conduire pour leur mise en place. Il est, à cette fin, en relation avec la commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL). Le BEA-TT l'encourage à finaliser ce travail.

### **3.7 - Les préconisations relatives au signal d'aide à la conduite dans les référentiels nationaux**

Le STRMTG a édité, en septembre 2007, un guide technique dénommé « *Signal d'aide à la conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé – principes de fonctionnement et de sécurisation* ». Les préconisations qui y figurent n'ont pas vocation à s'appliquer rétroactivement aux lignes de tramway en service à la date de sa publication.

Ce guide précise les exigences de fonctionnement que doivent satisfaire les trois fonctions « *prise en compte* », « *annonce du vertical* » et « *annonce du disque* » que peut assurer le signal d'aide à la conduite, et définit le niveau de sécurité qu'elles doivent atteindre.

Il demande également que ce signal réponde à certains critères d'ergonomie, notamment à ce qu'aucune confusion avec une autre signalisation ne soit possible, que les différents messages délivrés ne comportent aucune ambiguïté, que chaque feu composant ce signal n'assure pas plus de deux fonctions et qu'enfin son fonctionnement et son ergonomie soit identique sur l'ensemble du système de transport.

Une synthèse de ces préconisations, directement extraite du guide considéré, est jointe en annexe 2 au présent rapport.

Le signal d'aide à la conduite du réseau de tramway d'Orléans est composé d'un unique feu triangulaire lumineux qui, selon qu'il clignote, devient fixe ou s'éteint, assure les trois fonctions précitées. Son ergonomie ne permet, en outre, pas de discriminer instantanément et sans ambiguïté les différentes informations qu'il peut délivrer aux conducteurs. Il n'est à l'évidence pas optimal.

Déployé avant la publication du guide précité et présentant des écarts avec les recommandations qui y sont formulées, l'ergonomie du signal d'aide à la conduite considéré n'a théoriquement pas vocation à être développée sur d'autres réseaux de tramway.

Actuellement, les réseaux de tramway de Rouen et de Clermont-Ferrand, ainsi que la ligne de bus guidés de Caen utilisent un signal d'aide à la conduite présentant une ergonomie similaire à celui fonctionnant à Orléans. La plupart des autres réseaux utilisent un SAC dont l'information « *prise en compte* » est donnée par un losange orange clignotant et les informations « *annonce du vertical* » et « *annonce du disque* » prennent la forme d'un point d'exclamation bleu clignotant<sup>13</sup>.

---

13 Sur le réseau de Strasbourg, le losange est bleu et le point d'exclamation orange ; sur le réseau de Bordeaux l'information « prise en compte » n'est pas délivrée aux conducteurs ; sur le réseau d'Angers l'information « prise en compte » n'est donnée aux conducteurs que quelques secondes avant l'information « annonce du vertical ».

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

### 4.1 - La situation avant l'accident

Le jour de l'accident, le ciel était clair, la chaussée et les rails étaient secs. À l'heure de l'accident, la position du soleil n'était pas susceptible d'affecter la perception de la signalisation. De plus, son orientation à l'ouest n'était pas de nature à entraîner un éblouissement direct du conducteur de la rame de tramway.

Le conducteur de la rame 39 avait pris son service à 12h41 et celui de l'autocar à 17h35.

Lors de la collision, la rame 39 transportait 8 voyageurs, l'autocar en transportait 22.

### 4.2 - Le déroulement de l'accident

L'accident a eu lieu à 17h41 selon la chronologie reconstituée suivante :

- 43 secondes avant la collision, la rame 39 quitte la station « Bustière ». Le contrôleur de carrefour gérant les feux de signalisation de l'intersection entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot détecte son départ et commande le clignotement du triangle orange du signal d'aide à la conduite implanté au-dessus du feu R17 situé au droit de cette intersection ;
- 20 secondes avant la collision, l'autocar s'arrête devant le feu routier R11v de la rue Marcelin-Berthelot alors au rouge ;
- 9 à 10 secondes avant la collision, la rame 39 commence à entrer dans le site banal de la rue René-Ferragu. Le feu R17 situé au niveau du carrefour précité, dans le sens de sa marche, devient alors visible par le conducteur. Il est à l'horizontal ;

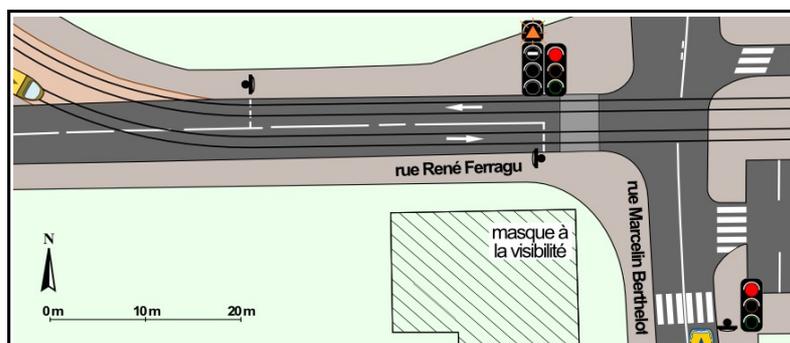


Fig. 27 : 9 à 10 secondes avant le choc

- 7 secondes avant le choc, le feu R11v devant lequel stationne l'autocar passe au vert. Son conducteur s'apprête à repartir ;

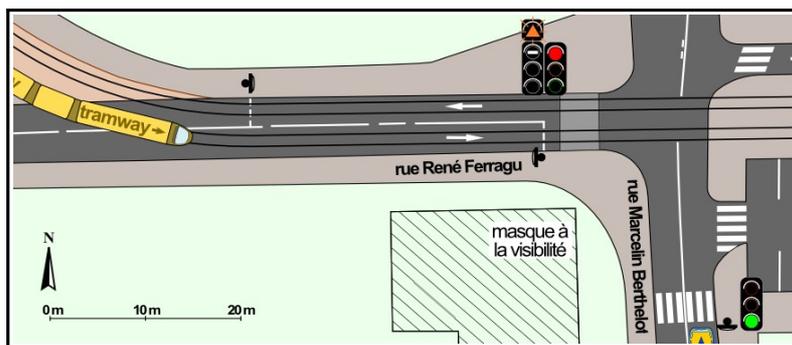


Fig. 28 : 7 secondes avant le choc

- environ 3 secondes avant la collision, le bâtiment situé dans l'angle nord-ouest des rues René-Ferragu et Marcellin-Berthelot n'empêche plus les conducteurs des deux véhicules concernés de s'entr'apercevoir. Cependant, aucun des deux ne mentionne avoir perçu la présence de l'autre. Ils sont alors tous les deux en train d'accélérer ;
- 1,8 secondes avant la collision, la rame 39 franchit le feu R17 qui est toujours à l'horizontal et qui le restera pendant les 14 secondes suivantes. Elle a atteint la vitesse de 28 km/h et son conducteur a placé son manipulateur de traction-freinage au neutre ;

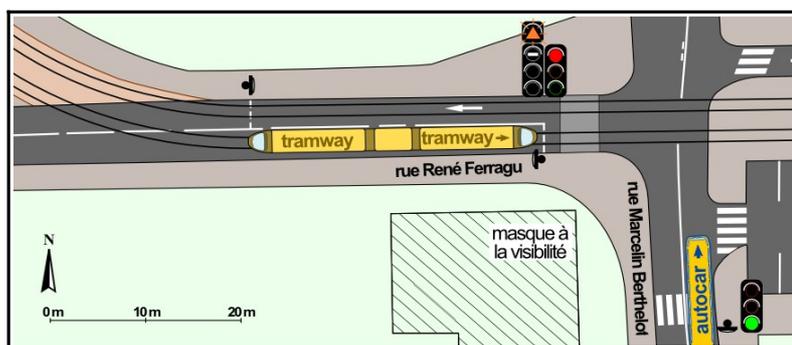


Fig. 29 : 1,8 secondes avant le choc

- 1,3 secondes avant la collision, le conducteur de la rame 39 engage un freinage de service, puis, juste avant le choc, à 2 mètres de l'autocar, il déclenche le freinage d'urgence et actionne simultanément son avertisseur sonore. L'autocar est toujours en phase d'accélération.

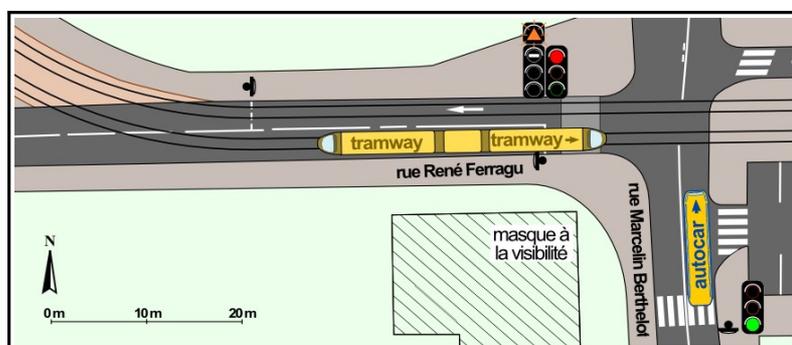


Fig. 30 : 1,3 secondes avant le choc

- La rame 39 percute l'avant de l'autocar à la vitesse de 23 km/h. Ce dernier avançait alors à 20 km/h. Il est poussé sur environ 5 mètres. Les bogies avant et central de la rame 39 déraillent. Elle se met « en portefeuille ».

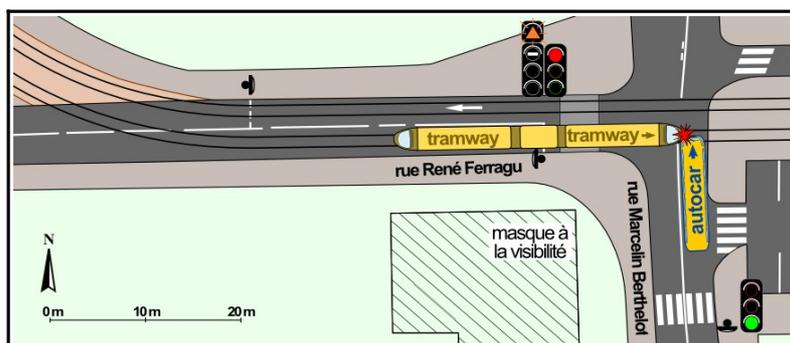


Fig. 31 : Choc

### 4.3 - Les actions post-accident

Immédiatement après l'accident, le conducteur de la rame 39 a appelé le poste de commandement centralisé (PCC) de la ligne de tramway, qui a alerté les pompiers et les forces de l'ordre.

Les pompiers ont dépêché sur les lieux deux véhicules de secours et d'assistance aux victimes (VSAV) et un véhicule de secours routier (VSR), qui y sont arrivés à 17h47. Ils ont recensé quatre blessés légers, dont deux ont été conduits au centre hospitalier régional d'Orléans-La Source.

Le carrefour a été fermé à la circulation automobile jusqu'à 2h00, le 26 juin 2011. La ligne de tramway a été exploitée jusqu'à la fin du service avec un terminus provisoire situé à la station « Gare des Aubrais ». Un service de substitution assuré par trois bus a été mis en place entre cette station et le terminus « Jules Verne ».

L'autocar accidenté a été rapatrié dans un garage et ses voyageurs ont été transférés dans un autre autocar. La rame 39 a été transbordée sur un véhicule porte-chars à l'aide de deux grues et conduite au centre de maintenance de la société exploitante. La vérification de l'état des installations et le passage d'une rame test ont pris fin le 26 juin 2006 à 2h00.



Fig. 32 : Opérations de relevage de la rame 39



Fig. 33 : Opérations de relevage de la rame 39



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

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

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

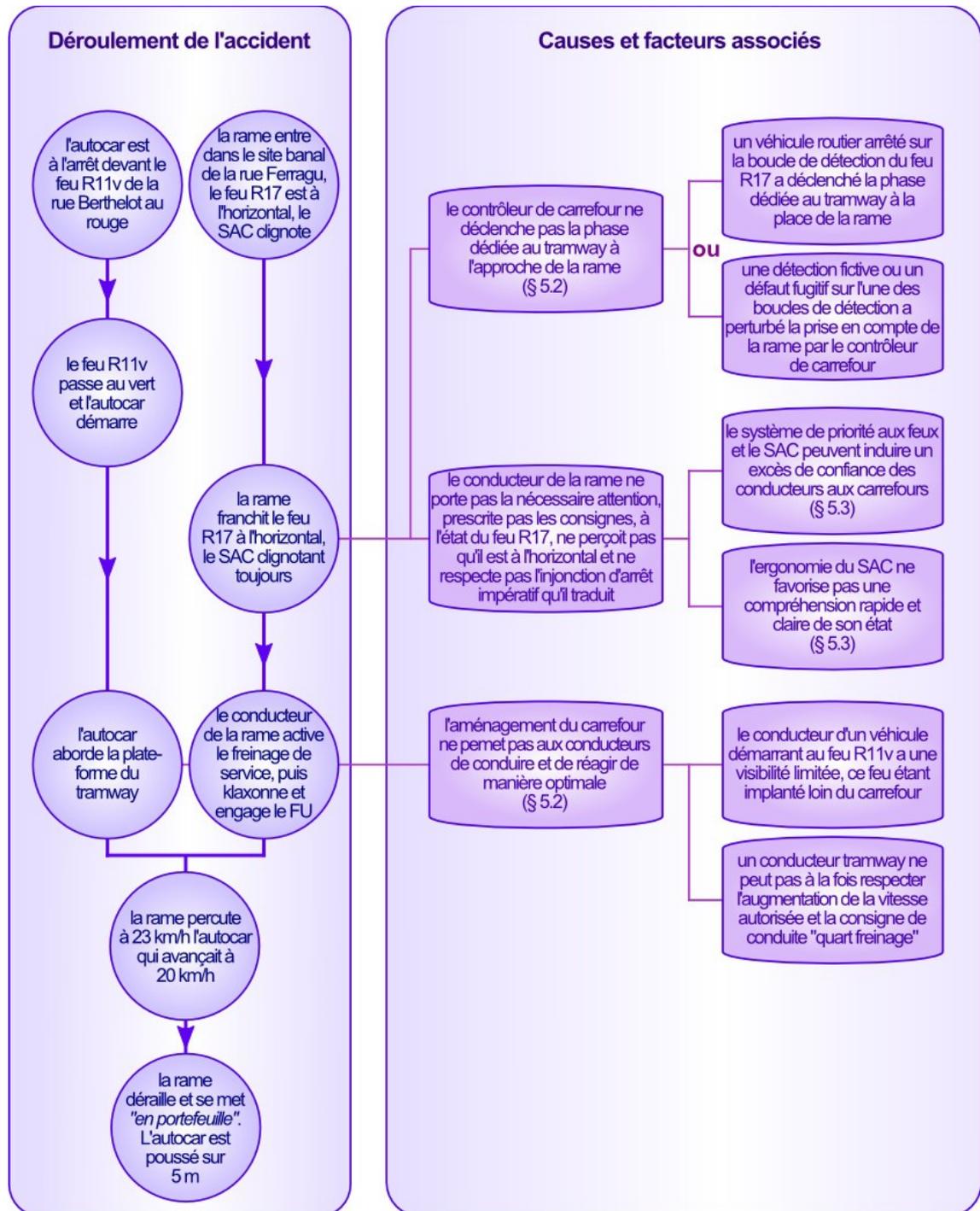


Fig. 34 : Schéma des causes et des facteurs associés

Cette analyse conduit le BEA-TT à rechercher des orientations préventives dans les deux domaines suivants :

- l'aménagement et le fonctionnement du carrefour entre la rue René-Ferragu et la rue Marcelin-Berthelot ;
- l'ergonomie des signaux d'aide à la conduite des tramways.

## 5.2 - L'aménagement et le fonctionnement du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot

Plusieurs caractéristiques de l'aménagement et des équipements du carrefour où l'accident s'est produit, ont joué un rôle dans son déroulement. En particulier :

- le feu routier R11v de la rue Marcelin-Berthelot, qui est implanté 18 mètres en amont de la plate-forme du tramway, est masqué par un bâtiment à la vue des conducteurs de tramway approchant du carrefour en venant de la station « Bustière ». Il en est de même des véhicules routiers arrêtés à ce feu R11v. L'expert ou organisme qualifié agréé (EOQA) chargé d'évaluer le dossier de sécurité dit « régularisé » de la ligne A du tramway d'Orléans, que l'autorité organisatrice des transports a transmis au préfet du Loiret en mars 2010, avait considéré un tel positionnement de ce feu comme un défaut de sécurité significatif.

Un feu implanté à proximité immédiate du carrefour aurait permis au conducteur de la rame 39 de voir l'autocar démarrer 7 secondes avant qu'elle n'arrive à l'intersection et de freiner plus tôt, ou au conducteur de l'autocar de comprendre que le tramway n'allait pas s'arrêter et de réagir en conséquence ;

- la vitesse maximale à laquelle les rames de tramway sont autorisées à circuler est portée de 20 km/h à 30 km/h juste avant l'intersection considérée. Deux règles contradictoires s'imposent alors aux conducteurs, l'une, explicite, leur prescrit de franchir l'intersection avec le manipulateur de traction-freinage positionné en léger freinage, l'autre, implicite, les incite à adopter une vitesse proche de la vitesse maximale autorisée, gage du respect de leurs horaires. Ils contournent la contradiction en anticipant l'augmentation de vitesse, en retardant le passage au quart-freinage ou en adoptant une stratégie intermédiaire, comme le montrent les bandes tachymétriques mentionnées au paragraphe 3.5.2.

Une augmentation de la vitesse maximale autorisée positionnée après l'intersection éviterait cette contradiction et aurait, dans le cas présent, contribué à atténuer les conséquences de l'accident en diminuant la vitesse de la rame de tramway lors du choc ;

- la temporisation associée à la boucle de détection « magnétique » qui permet de prendre en compte les rames de tramway non équipées de transpondeur, est de 10 secondes. Il en résulte que tout véhicule routier arrêté inopinément pendant plus de 10 secondes au-dessus de cette boucle ou plusieurs véhicules se suivant à faible distance perturbent le déroulement du cycle de feux et la bonne prise en compte d'une rame.

C'est l'une des hypothèses pouvant expliquer que le feu R17 ne soit pas passé au vertical à l'approche de la rame 39. Une valeur de temporisation plus importante permettrait de diminuer l'occurrence d'un tel scénario, sans avoir un impact significatif sur le fonctionnement du carrefour.

Par ailleurs, deux autres aspects liés à la programmation du contrôleur de carrefour peuvent influencer sur le comportement des conducteurs des rames de tramway et, le cas échéant, avoir joué un rôle indirect dans le présent accident : le temps d'avant-vert

minimum qui est plus important que celui adopté sur les autres carrefours et le délai d'approche des rames qui est manifestement sous-estimé. Ces deux facteurs conduisent à annoncer à l'aide du SAC le passage du feu R17 au vertical très en amont, au moment où la rame quitte le précédent carrefour et où elle s'engage dans le site banal.

Le BEA-TT émet donc la recommandation suivante :

#### **Recommandation R1 (Communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire)**

**Modifier, dans les meilleurs délais, le fonctionnement du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot afin, notamment :**

- **d'améliorer la visibilité réciproque des rames de tramway et des véhicules routiers arrêtés aux feux de la rue Marcelin-Berthelot ;**
- **de ne pas inciter les conducteurs de tramway à augmenter leur vitesse au moment de son franchissement ;**
- **de limiter les risques de perturbation des cycles de feux par la circulation routière empruntant le site banal de la rue René-Ferragu ;**
- **de retarder le délai d'annonce aux conducteurs de tramway de la prise en compte de leur rame par le contrôleur de carrefour.**

### **5.3 - L'ergonomie des signaux d'aide à la conduite des tramways**

En clignotant à l'orange, le signal d'aide à la conduite du réseau de tramway de l'agglomération orléanaise informe le conducteur que sa rame a été prise en compte par le contrôleur de carrefour et qu'il devrait disposer de la priorité au feu si toutes les autres conditions sont réunies par ailleurs. Cette information ne constitue toutefois aucunement une garantie que le feu R17 passera au vertical à l'approche de la rame.

Or, le dispositif de priorité aux feux équipant le réseau de tramway considéré est plutôt efficace. L'examen de plusieurs bandes tachymétriques a, en effet, montré qu'à l'exception d'une intersection singulière, il permet aux conducteurs concernés de franchir les carrefours à feux jalonnant leur trajet sans être arrêtés devant un feu R17 à l'horizontal.

Il peut s'ensuivre une confiance excessive des conducteurs dans le dispositif d'annonce de la prise en compte de leur rame par le contrôleur de carrefour, qui peut les amener à prêter d'autant moins d'attention à l'état réel de la signalisation lumineuse que cette annonce leur est faite très en amont du signal R17 concerné, parfois avant qu'ils ne puissent le percevoir<sup>14</sup>.

Il est probable que le franchissement du feu de signalisation R17, présentant une barre horizontale, qui est à l'origine de l'accident analysé dans le présent rapport soit la conséquence d'un tel excès de confiance. En effet, les investigations menées n'ont pas mis en évidence un éventuel phénomène d'hypovigilance. De plus, dans son témoignage, le conducteur de la rame 39 précise que lorsqu'il est entré dans le site banal de la rue René-Ferragu, il a vu, de loin, que le signal d'aide à la conduite clignotait et que tout lui semblait être comme à l'accoutumée. Il n'a alors plus porté attention au feu R17, contrairement aux règles de sécurité.

---

<sup>14</sup> Sur certains réseaux de tramway, notamment celui d'Angers, l'information de prise en compte de la rame par le dispositif de priorité aux feux est délivrée aux conducteurs quelques secondes seulement avant que le signal d'aide à la conduite n'annonce le passage du feu R17 au vertical, afin notamment de minimiser ce phénomène.

De même, il ressort de l'audition de plusieurs conducteurs du tramway d'Orléans que si l'information de la prise en compte de leur rame par le dispositif de priorité aux feux leur donne confiance dans le déroulement du cycle de feux et leur procure un certain confort, elle est également susceptible d'induire une perte de vigilance et un « *risque de routine* » lors de la traversée des carrefours.

Il est cependant difficile d'apprécier si la collision considérée relève d'un scénario récurrent justifiant des améliorations à apporter aux signaux d'aide à la conduite. En effet, les statistiques nationales d'accidentologie sur les réseaux de tramway ne permettent pas, à ce jour, de connaître précisément le nombre de franchissements de feux R17 à l'origine d'un accident et les données sur le nombre et la cause des franchissements de feux R17 sans conséquence accidentelle sont encore parcellaires.

Le BEA-TT émet en conséquence la recommandation suivante :

**Recommandation R2 (STRMTG) :**

**Mener une étude sur les risques susceptibles d'être induits par l'annonce aux conducteurs de tramway de la prise en compte de leur rame par les contrôleurs de carrefour et compléter, si nécessaire, le guide technique intitulé « *Signal d'aide à la conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé – principes de fonctionnement et de sécurisation* » par des recommandations appropriées permettant de limiter ces risques.**

## 6 - Conclusions et recommandations

### 6.1 - Les causes de l'accident

La cause directe de l'accident est le non-respect par le conducteur de la rame de tramway de l'obligation de s'arrêter devant le feu de signalisation R17 qui présentait une barre horizontale, équivalente au feu routier rouge, depuis au moins 10 secondes lorsque la collision s'est produite et qui est demeuré dans cette position pendant les 12 secondes suivantes.

Le franchissement de ce feu qui imposait un arrêt impératif, est probablement la conséquence d'un excès de confiance du conducteur concerné tant dans le dispositif de priorité dont est dotée la ligne de tramway considérée que dans le signal d'aide à la conduite qui lui est associé.

Les raisons pour lesquelles la priorité n'a pas été donnée à la rame incriminée lors de son approche de l'intersection des rues Ferragu et Berthelot n'ont pas pu être déterminées avec certitude, soit qu'un véhicule routier arrêté pendant plus de dix secondes sur la boucle de détection située au pied du feu R17 concerné ait provoqué une modification du déroulement du cycle de feux, soit qu'une détection fictive ou un défaut fugitif de l'une des boucles de détection associées à ce feu R17 ait perturbé la prise en compte de la rame par le contrôleur de carrefour.

Par ailleurs, l'implantation du feu routier de la rue Marcelin-Berthelot trop éloignée du carrefour, et ainsi masquée à la vue des conducteurs de tramway par un bâtiment d'angle, n'a pas permis aux deux conducteurs impliqués de s'entr'apercevoir suffisamment tôt pour réagir et éviter la collision.

### 6.2 - Les recommandations

Au vu de ces éléments, le BEA-TT formule les deux recommandations suivantes :

#### **Recommandation R1 (Communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire)**

**Modifier, dans les meilleurs délais, le fonctionnement du carrefour entre les rues René-Ferragu et Marcelin-Berthelot afin, notamment :**

- **d'améliorer la visibilité réciproque des rames de tramway et des véhicules routiers arrêtés aux feux de la rue Marcelin-Berthelot ;**
- **de ne pas inciter les conducteurs de tramway à augmenter leur vitesse au moment de son franchissement ;**
- **de limiter les risques de perturbation des cycles de feux par la circulation routière empruntant le site banal de la rue René-Ferragu ;**
- **de retarder le délai d'annonce aux conducteurs de tramway de la prise en compte de leur rame par le contrôleur de carrefour.**

#### **Recommandation R2 (STRMTG) :**

**Mener une étude sur les risques susceptibles d'être induits par l'annonce aux conducteurs de tramway de la prise en compte de leur rame par les contrôleurs de carrefour et compléter, si nécessaire, le guide technique intitulé « *Signal d'aide à la conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé* –**

***principes de fonctionnement et de sécurisation*** » par des recommandations appropriées permettant de limiter ces risques.

*Par ailleurs, le BEA-TT encourage le STRMTG à poursuivre la mise en œuvre de la recommandation qu'il lui a adressée à l'issue de l'enquête technique conduite sur la collision entre un tramway et une voiture particulière survenue le 4 juin 2007 à Saint-Herblain en Loire-Atlantique (44), concernant l'équipement des rames de tramway en caméras vidéo orientées vers le territoire à franchir.*

# ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Extrait du guide STRMTG « *Signal d'aide à la conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé – principes de fonctionnement et de sécurisation* »



# Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE,  
DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

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

La Défense, le 27 juin 2011

*Le Directeur*

**DECISION BEA-TT 2011-008**

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

Vu le code des transports et notamment le titre II du livre VI de la 1<sup>re</sup> partie relatif à l'enquête technique après un accident ou un incident de transport ;

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

Vu les circonstances de l'accident survenu le 25 juin 2011 à Fleury-les-Aubrais (Loiret);

**décide**

**Article 1** : Une enquête technique est ouverte en application du titre II du livre VI de la 1<sup>re</sup> partie du code des transports sur l'accident impliquant une rame de tramway et un autocar survenu le 25 juin 2011 à Fleury-les-Aubrais (45).

Le directeur du BEA-TT

Claude AZAM



## Annexe 2 : Extrait du guide du STRMTG « Signal d'aide à la conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé – principes de fonctionnement et de sécurisation »

<b>STRMTG</b>	GUIDE TECHNIQUE <i>GT2-DTW-Signal d'Aide à la Conduite</i>	Version 2 Fev 2009
		Page 19 / 19

**ANNEXE 2. Tableau « Principes de fonctionnement et de sécurisation alloués à chaque fonction du SAC » - mode nominal**

		Fonction du SAC		
		Prise en compte	Annonce de vertical	Annonce de disque
Exigences de sécurité	Utilité	Utile	Utile de fait	Nécessaire lorsqu'on est en fin de phase et si : <ul style="list-style-type: none"> <li>• prolongation du vertical pour les croiseurs et suiveurs des réseaux pratiquant le « vert gratuit »</li> <li>• prolongation du vertical pour les suiveurs pour les autres réseaux.</li> </ul>
	Activation du feu	Lors de la détection du véhicule	Le début de l'activation de l'annonce de vertical est tel que le transport guidé <sup>1</sup> puisse s'arrêter avant l'intersection avec : <ul style="list-style-type: none"> <li>- une décélération = 1,2 m/s<sup>2</sup> »</li> <li>- un temps de réaction machine = 0,85 s</li> <li>- un temps de réaction conducteur = 0 s</li> </ul>	6 à 8 secondes avant fallumage de la barre horizontale du R17
	Durée	Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supérieure ou égale à 3s</li> <li>• Identique sur un même système de transport</li> </ul> Si possible identique à l'annonce de disque	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supérieure ou égale à 3s et inférieure ou égale à 5s</li> <li>• Identique sur un même système de transport</li> </ul> Si possible identique à l'annonce de vertical
	Désactivation	Lors du passage du R17 au vertical Si réactivation de la prise en compte sur détection de TW suiveur (tous types de réseaux) ou croiseur (réseaux pratiquant le vert gratuit), la désactivation se fait en cohérence avec le mode de fonctionnement du carrefour	Lors du passage au R17 vertical <b>Promet l'ouverture du R17 de façon sûre dans l'enchaînement</b>	Allumage disque
	Ergonomie (forme, couleur, clignotant, fixe)	Identique sur un même système de transport et ne doit pas générer d'ambiguïté Pas plus de 2 fonctions par feu		
	Présence intempestive	Pas d'exigence	Défaut majeur (la commande doit être rendue inaccessible à la programmation)	Panne détectée (défaut mineur détecté et traité)
	Non fonctionnement	Pas d'exigence	Pas d'exigence	Traité avec le même niveau de sécurité que le jaune fixe en terme de commande (commande non accessible à la programmation).  Si la commande est passée et qu'elle n'aboutit pas, c'est un défaut mineur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- si feu annonce de vertical = feu annonce de disque, panne détectée par conducteur,</li> <li>- sinon, panne détectée autrement que par conducteur</li> </ul>

<sup>1</sup> Tel que défini dans le paragraphe 2.1. « Objet du guide »

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

Tour Voltaire - 92055 La Défense cedex  
Tél. : 01 40 81 21 83 - Fax : 01 40 81 21 50  
cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr  
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

