

BEA-TT

Bureau d'Enquêtes sur les Accidents
de Transport Terrestre

*Rapport d'enquête technique
sur la collision entre un tramway
et une voiture particulière
survenue le 27 avril 2010
à Orvault (44)*

mai 2011

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

**Présent
pour
l'avenir**



Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement

www.developpement-durable.gouv.fr

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

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

Affaire n° BEATT-2010-004

**Rapport d'enquête technique
sur la collision entre un tramway
et une voiture particulière
survenue le 27 avril 2010
à Orvault (44)**

Bordereau documentaire

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

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

Titre du document : Rapport d'enquête technique sur la collision entre un tramway et une voiture particulière survenue le 27 avril 2010 à Orvault (44)

N°ISRN : EQ-BEAT--11-7--FR

Proposition de mots-clés : accident, carrefour giratoire, transport en commun de personnes, transport guidé, signalisation

Avertissement

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

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

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

SOMMAIRE

GLOSSAIRE.....	9
RÉSUMÉ.....	11
1 - CONSTATS IMMÉDIATS ET ENGAGEMENT DE L'ENQUÊTE.....	13
1.1 - Circonstances de l'accident.....	13
1.2 - Bilan humain et matériel.....	13
1.3 - Engagement et organisation de l'enquête.....	13
2 - ÉLÉMENTS DE CONTEXTE.....	15
2.1 - Le réseau de l'agglomération nantaise.....	15
2.2 - L'exploitant.....	15
3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	17
3.1 - Résumé des témoignages.....	17
3.1.1 -Témoignage du conducteur de la rame de tramway.....	17
3.1.2 -Témoignage d'un passager de la rame de tramway.....	17
3.1.3 -Témoignage d'un automobiliste	18
3.2 - Le tramway accidenté.....	18
3.2.1 -Caractéristiques.....	18
3.2.2 -Les dégâts constatés sur la rame.....	19
3.3 - Le conducteur du tramway.....	20
3.4 - Le véhicule léger accidenté.....	20
3.4.1 -Caractéristiques.....	20
3.4.2 -Les dégâts constatés sur le véhicule léger.....	21
3.5 - La conductrice du véhicule léger.....	21
3.6 - Le carrefour giratoire « Cardo/Printemps ».....	21
3.6.1 -Situation du carrefour.....	21
3.6.2 -Géométrie du carrefour.....	22
3.6.3 -Vitesses autorisées.....	22
3.6.4 -Équipements et signalisation lumineuse.....	23
3.6.5 -Fonctionnement de la signalisation lumineuse.....	24
3.6.6 -Accidentalité.....	26
3.6.7 -Analyse du carrefour au regard des principes du guide CERTU/STRMTG « Giratoires et tramways ».....	26
3.7 - La sécurité de la circulation des tramways.....	27
3.8 - Analyse de la vidéo du tramway.....	28
3.9 - Analyse des données issues de la centrale tachymétrique du tramway.....	30
3.9.1 -Analyse des données de vitesse et de freinage de la rame.....	30
3.9.2 -La chronologie des événements.....	31
3.10 - Mesures de sécurité prises par l'exploitant.....	32

3.11 - Retour d'expérience sur les accidents similaires.....	33
3.11.1 -Le bilan de l'accidentologie des tramways entre 2003 et 2009 établi par le STRMTG.....	33
3.11.2 -Les enseignements de l'accident de juin 2007 à Saint-Herblain (44).....	34
4 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....	37
4.1 - Déroulement de l'accident.....	37
4.2 - Les secours.....	40
4.3 - Bilan des victimes.....	40
5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....	41
5.1 - Le respect des feux de signalisation du carrefour « Cardo/Printemps » par les usagers routiers.....	41
5.1.1 -La perception par la conductrice de la signalisation lumineuse de barrage.....	41
5.1.2 -La compréhension de la signification du feu rouge clignotant.....	42
5.1.3 -La crédibilité de la signalisation.....	43
5.2 - L'aménagement et le fonctionnement du carrefour « Cardo/Printemps ».....	43
6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	47
6.1 - Causes de l'accident.....	47
6.2 - Recommandations.....	47
ANNEXES.....	49
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	51
Annexe 2 : Plans de situation.....	52
Annexe 3 : Quelques signaux routiers aux interfaces avec une ligne de tramway.....	53

Crédits photographiques :

Police nationale : Figures n°5, 6, 21

BEA-TT : Figures n°3, 9, 22

SEMITAN : Figures n°4, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Internet : Figure n°7

Glossaire

- **AOT** : Autorité Organisatrice des Transports
- **CERTU** : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
- **BIRMTG** : Bureau Interdépartemental des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés, devenu depuis le 1^{er} janvier 2011 bureau du STRMTG
- **DDTM** : Direction Départementale des Territoires et de la Mer
- **DSCR** : Délégation à la Sécurité et à la Circulation Routières
- **GART** : Groupement des Autorités Responsables des Transports
- **LAC** : Ligne Aérienne de Contact
- **SEMITAN** : Société d'Économie Mixte des Transports en Commun de l'Agglomération Nantaise
- **STRMTG** : Service Technique des Remontés Mécaniques et des Transports Guidés
- **UTP** : Union des Transports Publics et Ferroviaires

Résumé

Le 27 avril 2010, à 14h05, au carrefour giratoire « Cardo/Printemps » à Orvault (44), un tramway qui circule sur la ligne 2 du réseau de l'agglomération nantaise entre en collision avec une voiture particulière qui s'est engagée sur la plate-forme du tramway malgré le feu rouge clignotant.

Le bilan de l'accident est d'un tué : la conductrice de la voiture particulière.

La cause directe de l'accident est le non respect par le véhicule léger des signaux lumineux R22j et R24 au rouge.

Le manque de lisibilité du carrefour et de la signalisation lumineuse a pu contribuer à un défaut de perception de ces signaux. Ce manque de lisibilité résulte du cumul de plusieurs facteurs :

- la complexité du carrefour (conflits tramway/voitures, nombre important d'entrées) ;
- une visibilité médiocre de la signalisation lumineuse dans le contexte urbain ;
- l'ambiguïté ou la mauvaise perception de certains signaux.

Le BEA-TT adresse 4 recommandations aux acteurs locaux (exploitant, communauté d'agglomération) et nationaux (DSCR, CERTU) visant à :

- réaménager le carrefour où s'est produit l'accident et achever le renforcement de la signalisation lumineuse en cours sur les carrefours de l'agglomération nantaise traversés par le tramway ;
- poursuivre au niveau national l'évaluation comparative des signaux lumineux de barrage de carrefours traversés par un tramway et améliorer la connaissance par les usagers du feu R24 notamment en contexte urbain.

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Circonstances de l'accident

Le 27 avril 2010, à 14h05, un tramway qui circulait sur la ligne 2 de Nantes est entré en collision avec une voiture particulière qui s'était engagée sur la plate-forme du tramway au niveau du carrefour giratoire « Cardo/Printemps » à Orvault (44).

1.2 - Bilan humain et matériel

Le bilan humain est d'un mort, la conductrice de la voiture particulière. Le conducteur et les 5 passagers du tramway n'ont pas été blessés.

Le côté gauche du véhicule léger est très enfoncé, l'avant de la rame est très légèrement endommagé.

Les secours mobilisent les sapeurs-pompiers de Saint-Herblain et d'Orvault ainsi que le SAMU. L'accident mobilise également une équipe du commissariat d'Orvault et des policiers de la Brigade Accidents et Délits Routiers (BADR).

1.3 - Engagement et organisation de l'enquête

Au vu des circonstances de cet accident, et avec l'accord du ministre chargé des transports, le directeur du Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT) a ouvert, par décision du 4 mai 2010, une enquête technique sur cet accident (cf annexe 1).

Cette enquête est réalisée dans le cadre du titre III de la loi n°2002-3 du 3 janvier 2002, codifié depuis le 28 octobre 2010 aux articles L 1621-2 à 1622-2 du code des transports, et du décret n°2004-85 du 26 janvier 2004, relatifs notamment aux enquêtes techniques après accident ou incident de transport terrestre.

Les enquêteurs du BEA-TT se sont rendus sur place. Ils ont pu rencontrer les principaux acteurs locaux : l'exploitant du tramway (la SEMITAN*), l'autorité organisatrice des transports (Nantes Métropole) ainsi que la DDTM* et le BIRMTG* en charge du contrôle de la sécurité pour le compte du préfet. Ils ont pu disposer des résultats de l'enquête réalisée par la police nationale et du rapport d'accident de l'exploitant.

* Terme figurant dans le glossaire

2 - Éléments de contexte

2.1 - Le réseau de l'agglomération nantaise

Le tramway de Nantes a été implanté sur l'agglomération en 1985. Il comprend 3 lignes desservant 84 stations sur un linéaire de 42 km. Il transporte quotidiennement plus de 260 000 passagers.

La ligne 2, aménagée sur un axe nord-sud, a été inaugurée en 1992 puis prolongée au nord en 1993 vers le campus universitaire et en 1994 jusqu'au centre commercial « Grand Val » à Orvault. D'une longueur de 11,7 km, elle dessert 25 stations et transporte quotidiennement 84 500 passagers.

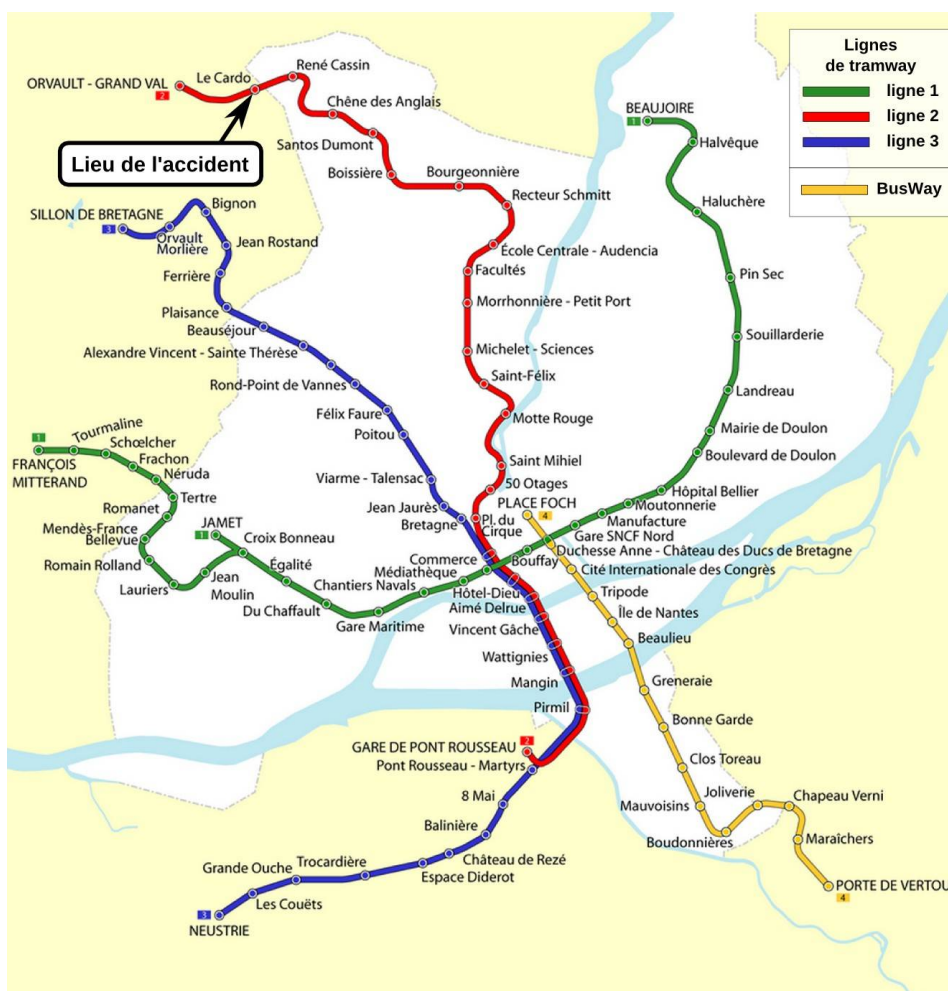


Figure 1 : Le réseau de l'agglomération nantaise de tramway et « busway »

2.2 - L'exploitant

La SEMITAN (Société d'économie mixte des transports en commun de l'agglomération nantaise) exploite le réseau de transport en commun de l'agglomération nantaise (sous le nom commercial « TAN »), en délégation de service public pour le compte de la communauté urbaine « Nantes Métropole ». Elle gère ainsi l'intégralité des lignes de tramway, la ligne de bus à haut niveau de service et une partie des lignes de bus.

3 - Compte rendu des investigations effectuées

3.1 - Résumé des témoignages

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

3.1.1 - *Témoignage du conducteur de la rame de tramway*

Le conducteur du tramway est arrêté à la station « Le Cardo » et après la fermeture des portes, il actionne le gong pour avertir les personnes se trouvant autour du tramway.

Il attend que la signalisation routière du carrefour passe au rouge et que la signalisation lumineuse du tramway l'autorise à passer, puis démarre.

Il voit, à ce moment, un véhicule léger arrivant sur sa gauche franchir les feux rouges et s'engager dans le carrefour. Il ralentit sans freiner pour laisser passer ce véhicule puis actionne à nouveau la traction.

Il aperçoit alors le véhicule Citroën Saxo, venant de la rue du Printemps sur la droite du carrefour, s'engager dans celui-ci alors que les feux tricolores sont au rouge fixe. Il n'y a qu'une personne à bord qui ne regarde à aucun moment dans sa direction.

Il actionne alors le gong à plusieurs reprises et constate que le véhicule léger semble marquer une hésitation.

Il ralentit pensant que le véhicule va s'arrêter.

Tout se passe ensuite très vite. Le véhicule s'engage sur la plate-forme. Le conducteur du tramway actionne le frein d'urgence.

L'avant du tramway percute le véhicule sur le côté gauche et s'arrête après une dizaine de mètres.

Il avise alors le PC central situé rue Bellier, bloque les portes par sécurité, demande aux passagers du tramway de se porter à l'avant de la rame et se porte au secours de l'automobiliste accidentée.

Les secours arrivent 4 à 5 minutes après l'appel au PC central.

3.1.2 - *Témoignage d'un passager de la rame de tramway*

La passagère est assise à l'avant du tramway côté droit. Le tramway qui vient de quitter la station « Le Cardo » circule lentement. Elle ressent que le tramway ralentit après avoir démarré.

Son attention se porte sur le carrefour giratoire et elle voit une voiture de couleur sombre, venant de la droite dans le rond-point, s'engouffrer devant le tramway. Celle-ci est heurtée par le tramway et poussée sur plusieurs mètres.

Elle ne se souvient pas si le tramway a émis un avertissement sonore. Elle n'a pas prêté attention à la signalisation lumineuse du carrefour.

3.1.3 - *Témoignage d'un automobiliste*

L'automobiliste circule rue du Printemps et suit la Citroën Saxo à une vingtaine de mètres.

Il voit ce véhicule arriver au niveau du feu tricolore au rouge fixe situé à gauche de la voie, poursuivre sa progression sans ralentir et s'engager dans le giratoire. Ce véhicule arrive au niveau de la seconde ligne de feux comportant deux feux rouges clignotants à droite et à gauche et un second feu rouge fixe à droite, et s'engage sur la plate-forme du tramway sans paraître hésiter.

Le tramway qui avance à faible vitesse percute le côté gauche du véhicule léger et le pousse sur plusieurs mètres.

Le témoin se porte au secours de l'automobiliste et constate qu'elle a perdu connaissance. Elle est penchée sur le côté droit vers le siège passager, retenue par sa ceinture de sécurité qui est attachée.

3.2 - Le tramway accidenté

3.2.1 - *Caractéristiques*

La rame accidentée est la rame n°317 de type « Tramway Français Standard » (TFS) du constructeur GEC Alsthom.

C'est un véhicule articulé sur rails à traction électrique composé de deux motrices et d'une remorque intermédiaire. Sa longueur est de 39,15 m, sa masse à vide de 52 t et sa charge maximale de 74 t.

Il repose sur 4 bogies : un bogie avant moteur, deux bogies médians porteurs et un bogie arrière moteur. Le véhicule est bidirectionnel.

Les moteurs de traction sont alimentés en courant continu 750 volts, l'alimentation s'effectuant par une ligne aérienne.

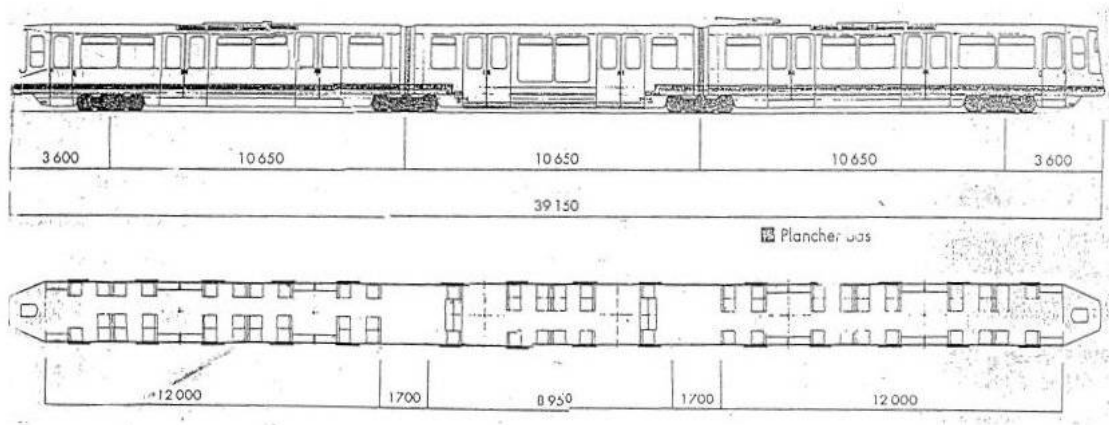


Figure 2 : Rame de tramway TFS GEC Alsthom

La capacité de transport de la rame est de 236 personnes (74 assises et 162 debout) en charge normale et de 317 personnes en charge maximale.



Figure 3 : Vue d'un tramway similaire de type TFS - GEC Alsthom

3.2.2 - Les dégâts constatés sur la rame

L'avant de la rame est légèrement endommagé. Seuls des éléments de carrosserie démontables ont été touchés : pare-chocs, carénage et feux.



Figure 4 : Vue des dégâts occasionnés à la rame

La rame est remise en exploitation le lendemain 28 avril à 7h25.

3.3 - Le conducteur du tramway

Le conducteur du tramway est un homme de 34 ans, titulaire du permis D¹ depuis 2003.

Il est conducteur de tramway à la TAN depuis 2006.

Il a été habilité à la conduite du tramway en mars 2006. La dernière journée de formation continue à laquelle il a assisté s'est déroulée le 28 janvier 2010.

L'accidentologie du conducteur n'appelle pas de commentaires. Depuis son habilitation « tramway », avant l'accident du 27 avril, il avait eu un incident voyageur et une collision avec un tiers qui n'avait pas respecté une interdiction de tourner à gauche et avait heurté le tramway.

Les dépistages d'alcoolémie et de stupéfiants effectués sur le conducteur du tramway accidenté sont négatifs.

3.4 - Le véhicule léger accidenté

3.4.1 - Caractéristiques

Le véhicule accidenté est une Citroën Saxo. Il appartient à une association religieuse dont la conductrice était membre. Mis en circulation en octobre 2000, il est apparemment en bon état général.

1 Permis de conduire les véhicules automobiles affectés au transport de personnes comportant plus de huit places assises outre le siège du conducteur ou transportant plus de huit personnes, non compris le conducteur.

3.4.2 - Les dégâts constatés sur le véhicule léger

Le véhicule léger a été très fortement endommagé par le choc qui s'est produit au niveau de la porte avant gauche. Le côté gauche, entièrement écrasé, témoigne de la violence du choc. Le pare-choc arrière est arraché. Le coffre arrière est tordu. Le pneu avant droit est dégonflé et la jante endommagée.



Figure 5 : Vue des dégâts occasionnés
au côté droit du VL



Figure 6 : Vue des dégâts occasionnés
au côté gauche du VL.
La rame de tramway a été reculée

3.5 - La conductrice du véhicule léger

La conductrice du véhicule accidenté est une femme âgée de 73 ans, titulaire du permis B depuis 1979.

Elle n'habite dans le secteur que depuis 4 semaines.

Lors de l'accident, elle revenait du centre commercial pour rentrer chez elle (cf figure 7).

Les dépistages d'alcoolémie et de stupéfiants effectués sur cette conductrice sont négatifs.

3.6 - Le carrefour giratoire « Cardo/Printemps »

3.6.1 - Situation du carrefour

L'accident s'est produit dans le carrefour giratoire « Cardo/Printemps » à Orvault. Ce giratoire situé dans une zone commerciale est l'un des deux giratoires encadrant la station de tramway « Le Cardo », à proximité du terminus nord de la ligne 2 du tramway.

Le plan de circulation de la zone est complexe. Les véhicules souhaitant se rendre au centre commercial « Orvault Grand Val » depuis le périphérique doivent franchir deux fois la plate-forme du tramway (cf représentation des itinéraires centre commercial / périphérique sur la figure 7).



Figure 7 : Environnement du lieu de l'accident

3.6.2 - Géométrie du carrefour

Le carrefour « Cardo/Printemps » est un giratoire à 5 branches avec un rayon extérieur de 25 m (voir figure 8 ci-après). La plate-forme du tramway franchit le giratoire en position axiale. La largeur de l'anneau est égale à 8,50 m permettant la circulation de deux files de véhicules.

Certaines voies d'accès au giratoire débouchent sur l'anneau immédiatement avant la traversée de la plate-forme du tramway. La configuration du débouché de l'allée Mékarski et de la rue du Printemps, au nord du giratoire, est particulièrement délicate.

L'entrée non parallèle à la plate-forme du tramway au sud du giratoire est à deux voies.

3.6.3 - Vitesses autorisées

La vitesse maximale autorisée pour les tramways est de 30 km/h.

La vitesse maximale autorisée pour les véhicules routiers est de 50 km/h.

3.6.4 - Équipements et signalisation lumineuse

Le marquage de la plate-forme est assez peu lisible.

Les différents panneaux cités ci-dessous sont illustrés en annexe 3.

Les voies d'accès au carrefour giratoire sont équipées de panneaux AB3a (cédez le passage) et de signaux R22j de contrôle de flot (jaune clignotant, jaune, rouge) implantés en entrée de carrefour.

L'anneau est équipé au niveau de la traversée de la plate-forme du tramway de signaux d'arrêt R24 (rouge clignotant), complétés par des panneaux C20c et situés à droite et à gauche des voies de circulation.

Une ligne d'effet de ces feux R24 constituée d'une ligne discontinue doublée d'une ligne continue est marquée en bordure de la plate-forme du tramway.

Le carrefour n'est pas équipé d'une signalisation avancée de franchissement d'une plate-forme de tramway (panneaux A9).

Sur la plate-forme du tramway, deux signaux R17 à l'attention des conducteurs du tramway sont implantés de part et d'autre du carrefour.

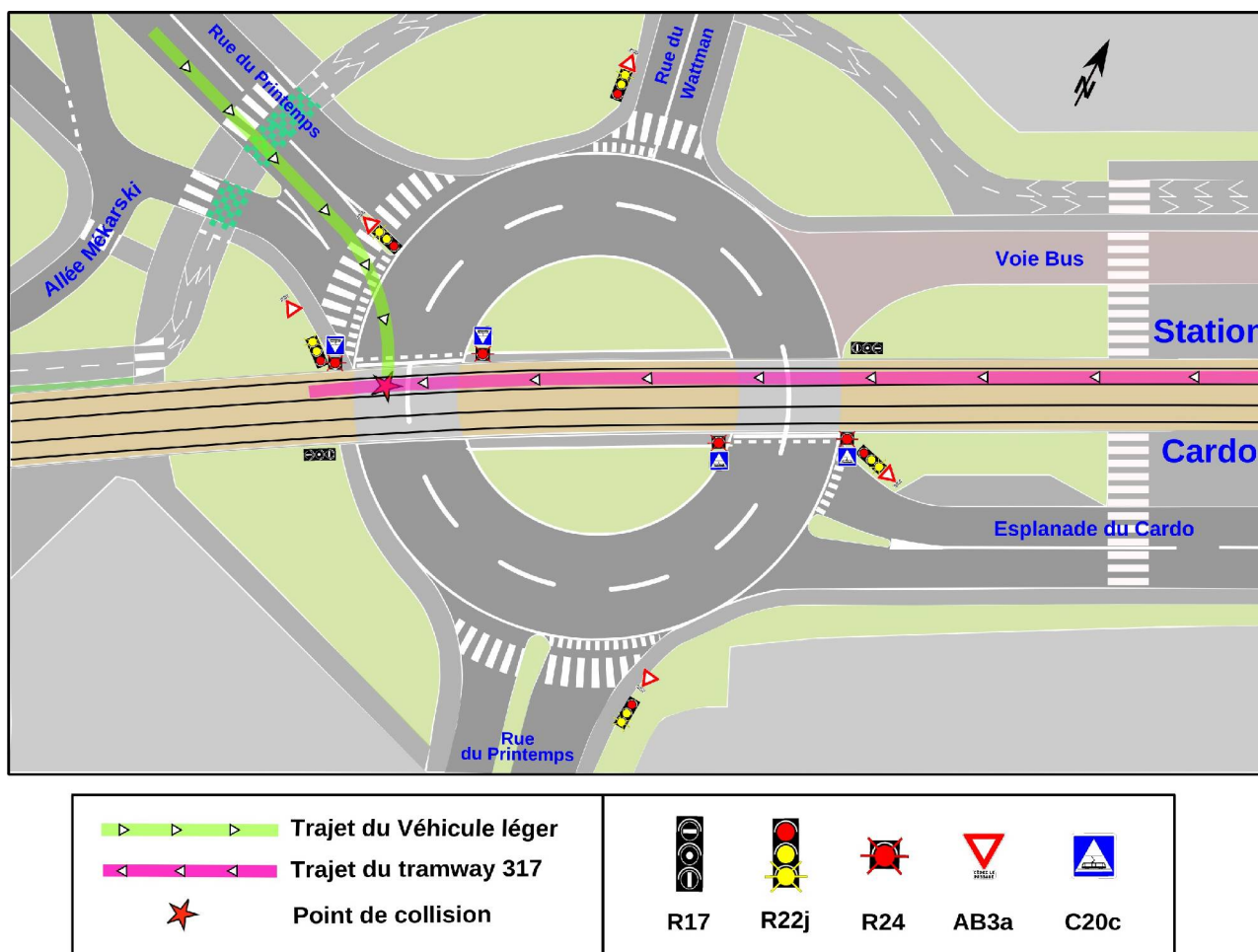


Figure 8 : La signalisation routière statique et lumineuse du giratoire « Cardo/Printemps »

Le giratoire, situé dans une zone commerciale, est environné de nombreuses enseignes publicitaires qui compliquent singulièrement la lecture de la signalisation routière.

La photographie ci-après a été prise depuis la rue du Printemps, voie empruntée par l'automobiliste victime de l'accident. Elle montre notamment que les signaux d'arrêt R24 implantés pour les usagers circulant sur l'anneau ne sont pas facilement visibles pour un usager depuis la rue du Printemps. Celui de droite n'est pas visible et celui de gauche est « perdu » dans une forêt de panneaux.



Figure 9 : Giratoire et plate-forme du tramway vus depuis la rue du Printemps (sens d'arrivée du véhicule accidenté)

3.6.5 - Fonctionnement de la signalisation lumineuse

La signalisation lumineuse du carrefour n'est activée que lors de la traversée du carrefour par un tramway.

Tramway en provenance de l'esplanade du Cardo

La détection d'un tramway en provenance de l'esplanade du Cardo est effectuée lorsque la rame passe sur une boucle de détection située à l'entrée de la station « Le Cardo ». Le tramway ainsi détecté dessert donc la station « Le Cardo » avant d'atteindre le giratoire sur lequel il pénètre 30 secondes au plus tôt après sa détection.

La détection de la rame déclenche le cycle de fonctionnement standard suivant :

- en l'absence de tramway, les signaux R24 sont éteints, les signaux R22j présentent le jaune du bas en mode clignotant et le signal R17 présente la barre horizontale allumée (fermeture) ;

- 21 secondes après la détection du tramway, les signaux R22j passent au jaune fixe pendant 5 secondes ;
- 26 secondes après la détection du tramway, les signaux R22j passent au rouge fixe et les signaux R24 passent simultanément au rouge clignotant ;
- 30 secondes après la détection du tramway, soit 4 secondes après la mise au rouge des R22j et R24, le signal R17 autorisant le tramway à traverser le carrefour passe au vertical allumé (ouverture) ;
- le tramway peut alors s'engager dans le carrefour.

Lorsque le tramway a traversé le carrefour, les signaux R24 sont éteints et les signaux R22j repassent au jaune clignotant.

Le délai entre la mise au rouge des signaux routiers et l'engagement du tramway dans le carrefour est ainsi variable et dépend pour l'essentiel de la durée d'arrêt du tramway en station. Le minimum est de 4 secondes (délai entre l'allumage des R24 et mise au vertical du R17).

Les mesures effectuées par les enquêteurs du BEA-TT après l'accident montrent que le délai moyen entre la mise au rouge des signaux routiers et le passage effectif du tramway au niveau de la seconde traversée routière est de 15 secondes environ. Ce délai relativement élevé peut inciter les automobilistes qui voient le tramway arrêté en station à forcer le passage malgré le R24 au rouge clignotant. Les enquêteurs du BEA-TT ont d'ailleurs eux-même constaté pendant leur visite sur place le franchissement du R24 rouge clignotant et du R22j rouge par quelques usagers.

Tramway en provenance d'Orvault - Grand Val

Une activation similaire des feux du carrefour est opérée en cas d'arrivée d'un tramway venant d'Orvault - Grand Val.

La boucle de détection est située à environ 120 m du carrefour, c'est-à-dire en prenant l'hypothèse d'une vitesse de 10 m/s du tramway, 12 secondes environ avant que celui-ci n'aborde le giratoire.

En l'absence de tramway, les signaux R24 sont éteints, les signaux R22j présentent le jaune du bas en mode clignotant et le signal R17 présente la barre horizontale allumée (fermeture).

La détection de la rame déclenche la séquence suivante :

- lors de la détection de la rame, les signaux R22j passent immédiatement au jaune fixe ;
- 5 secondes plus tard, les signaux R22j passent au rouge fixe et les signaux R24 passent simultanément au rouge clignotant ;
- 4 secondes après la mise au rouge des R22j et R24, le signal R17 autorisant le tramway à traverser le carrefour passe au vertical allumé (ouverture) ;
- le tramway peut alors s'engager dans le carrefour. Compte tenu de la vitesse moyenne de la rame celle-ci aborde généralement le carrefour 3 secondes après le passage au vertical allumé du signal R17.

3.6.6 - Accidentalité

Entre 2004 et 2009, 5 accidents corporels ayant occasionné 1 tué, 1 blessé grave et 4 blessés légers sont survenus au droit du carrefour considéré. La majorité de ces accidents a concerné la traversée la plus à l'ouest, ce qui confirme que la configuration du débouché de la rue du Printemps et de l'allée Mékarski est la plus accidentogène.

Le carrefour « Cardo/Printemps » est l'un des carrefours considérés comme les plus accidentogènes sur le réseau de tramway de l'agglomération nantaise.

3.6.7 - Analyse du carrefour au regard des principes du guide CERTU/STRMTG « Giratoires et tramways »

Les recommandations du guide CERTU / STRMTG

Le CERTU* et le STRMTG* ont corédigé et publié en février 2008 un guide de conception des carrefours giratoires traversés par une ligne de tramway dénommé « Giratoires et tramways – Franchissement d'un carrefour giratoire par une ligne de tramways ».

Compte tenu de l'accidentologie élevée sur ces giratoires, le guide incite fortement les concepteurs à mener une réflexion approfondie pour valider préalablement le choix d'implanter un giratoire. Si, pour des questions globales d'aménagement dans un contexte urbain donné, un giratoire est malgré tout envisagé, le guide présente aux professionnels de l'aménagement urbain l'état actuel de l'art et des solutions d'aménagement à retenir.

Les deux objectifs recherchés sont une réduction de la vitesse des véhicules routiers à l'approche du carrefour giratoire et une amélioration de la lisibilité de celui-ci afin que l'usager puisse en percevoir le fonctionnement sans ambiguïté ni confusion.

Les principes essentiels à retenir sont les suivants :

- la plate-forme du tramway doit franchir le giratoire en quasi ligne droite en traversant l'îlot au plus près de son centre, en prohibant une entrée des véhicules sur le giratoire débouchant immédiatement sur la plate-forme du tramway ;
- le rayon du giratoire doit être compris entre 14 m et 22 m ;
- la largeur de l'anneau ne doit pas favoriser la circulation de deux véhicules de front ;
- l'entrée sur l'anneau doit se faire sur une seule file ;
- la sortie doit se faire sur une seule file ;
- l'annonce du franchissement est effectuée en amont du carrefour par des panneaux A9 et AB25 ;
- le barrage du trafic routier est effectué par des signaux R24 ou R11v (feu tricolore classique) associés à des panneaux C20c. La ligne d'effet des feux est implantée à 1,5 m en amont du gabarit limite d'obstacle du tramway ;

* Terme figurant dans le glossaire

- l'implantation d'autres signaux lumineux est déconseillée à proximité immédiate des entrées et sorties.

Analyse du carrefour « Cardo/Printemps »

Le carrefour aménagé 4 ans avant la parution du guide précité présente des écarts significatifs par rapport aux recommandations que celui-ci propose :

- certaines entrées de véhicules débouchent immédiatement sur la plate-forme du tramway (accès ouest rue du Printemps et esplanade du Cardo) ;
- l'accès sud par la rue du Printemps s'effectue sur deux files ;
- l'anneau comporte deux files de circulation ;
- le rayon extérieur de l'anneau de 25 m est supérieur aux dimensions recommandées ;
- deux voies, la rue du Printemps et l'allée Mékarski, débouchent simultanément sur le giratoire.

Les équipements et la signalisation lumineuse appellent, de plus, les remarques suivantes :

- la signalisation horizontale est peu visible ;
- les entrées du giratoire sont régulées par des signaux R22j, ce qui est déconseillé ;
- l'implantation des signaux R24 et R22j sur un même poteau, à droite de l'allée Mékarski, ne facilite pas leur lisibilité (voir figure n°9) ;
- le signal R24 destiné aux usagers abordant le giratoire par l'ouest depuis la rue du Printemps et l'allée Mékarski situé à gauche de l'anneau est peu visible car « perdu » dans une forêt de panneaux (voir figure n°9).

3.7 - La sécurité de la circulation des tramways

La sécurité de la circulation des tramways repose sur le principe de la marche à vue : le conducteur adapte sa vitesse et sa conduite en fonction de l'environnement et des circonstances.

Les consignes d'exploitation devant être respectées sur la ligne 2 par les conducteurs de tramway figurent dans deux documents élaborés par l'exploitant et intitulés « Consignes générales d'exploitation du tramway » et « Consignes spécifiques d'exploitation ligne 2 ».

Quelques extraits des consignes d'exploitation concernant la conduite à tenir lors de traversées routières sont présentés ci-après.

Marche à vue

Le tramway circulant à vue, le conducteur doit concentrer toute son attention sur la voie, la circulation parallèle, les mouvements des piétons, l'observation des signaux et des feux de circulation.

Vitesse sur la ligne

La vitesse des tramways est limitée sur l'ensemble de la ligne 2 à 50 km/h.

La vitesse limite est abaissée à 40 km/h en cas de franchissement d'une traversée routière signalisée ou non (sauf si la vitesse autorisée sur le tronçon est inférieure ou si le franchissement de la traversée routière est assujéti à une limitation de vitesse spécifique affichée par panneau).

Au niveau de la traversée des giratoires « Cassin/Rennes » et « Cardo/Printemps », la vitesse est limitée à 30 km/h.

D'autres limitations de vitesse sont par ailleurs imposées sur certaines sections de la ligne, en cas de défaut de la signalisation lumineuse ou lors de manœuvres particulières.

Ces limitations indiquent des vitesses maximales autorisées et en aucun cas des vitesses imposées. En conséquence, le conducteur doit adapter en permanence son allure à la situation rencontrée.

Utilisation du gong

L'utilisation du gong est obligatoire, notamment en cas de présence de véhicules sur une traversée routière.

Maîtrise de la rame

Le conducteur doit rester maître de sa rame et faire preuve de prévoyance et d'anticipation pour pouvoir l'arrêter avant tout obstacle ou signal d'arrêt pouvant se présenter.

Lors de franchissements d'intersection, à vitesse stabilisée, les conducteurs doivent :

- adapter leur vitesse de façon à s'assurer de l'obtention du feu de traversée routière au vertical ;
- aborder le carrefour en position du manipulateur au neutre ou en léger freinage (usuellement dénommé « quart freinage »).

3.8 - Analyse de la vidéo du tramway

Une vidéo, issue d'une caméra intérieure à la rame, a été fournie par la SEMITAN. Cette vidéo retrace les événements qui se sont produits entre le départ de la station « Le Cardo » et le choc avec le véhicule léger.

Elle confirme le passage d'un premier véhicule et montre le choc contre le second véhicule après la traversée de l'îlot central.

Elle montre que le premier véhicule circulait sur l'Esplanade du Cardo dans le même sens que le tramway. L'analyse de la chronologie de la vidéo permet de penser que ce premier véhicule s'est engagé sur le carrefour giratoire juste au moment du passage au rouge du feu R22j situé au débouché de l'Esplanade du Cardo, puis sur la plate-forme du tramway 2 secondes environ après l'allumage du feu R24 de barrage.

Elle permet en outre de situer entre 21 et 31 km/h la vitesse du second véhicule, la Citroën accidentée.



Alame VUMOTRIC 27/04/2010 13:59:25

Figure 10 : Le tramway arrive sur l'anneau. L'arrière du 1^{er} véhicule ayant coupé la route du tramway est visible en haut à droite



Alame VUMOTRIC 27/04/2010 13:59:30

Figure 11 : Le tramway sort de la pastille centrale. Le VL impliqué dans l'accident, qui vient de s'engager sur l'anneau, est visible à droite



Alame VUMOTRIC 27/04/2010 13:59:32

Figure 12 : Le tramway freine ; le VL poursuit sa route sur la voie extérieure de l'anneau



Alame VUMOTRIC 27/04/2010 13:59:32

Figure 13 : l'instant du choc



Figure 14 : Le VL poussé par le tramway frôle le poteau du feu tricolore



Figure 15 : Après avoir poussé le VL, la rame s'immobilise

3.9 - Analyse des données issues de la centrale tachymétrique du tramway

La centrale tachymétrique équipant le tramway enregistre, à une fréquence variable qui dépend notamment de la vitesse et de la variation d'allure de la rame, trois paramètres : l'heure, la vitesse et la distance parcourue depuis le dernier enregistrement. Elle enregistre également des informations techniques de la rame telles que l'actionnement du signal d'alarme ou du freinage d'urgence.

Entre le départ de la station « Le Cardo » et le lieu de l'accident, les données ont été enregistrées avec une fréquence variant entre une demi-seconde et 3 secondes.

3.9.1 - Analyse des données de vitesse et de freinage de la rame

D'après l'analyse des données de la centrale tachymétrique, la rame est en accélération depuis la station « Le Cardo » jusqu'au déclenchement du freinage d'urgence. Le conducteur aborde la deuxième traversée de l'anneau du giratoire à 33 km/h environ et déclenche le freinage d'urgence juste en sortie de l'îlot central, donc avant le choc. Nous pouvons en déduire qu'au moment du choc, la vitesse de la rame est comprise entre 27 et 33 km/h.

La décélération moyenne de la rame après le déclenchement du freinage d'urgence est de $2,61 \text{ m/s}^2$. Cette décélération est conforme aux résultats obtenus lors des tests de performance réalisés le 26 février 2010 ($2,64 \text{ m/s}^2$). Ceci montre que le freinage de la rame a correctement fonctionné.

Le conducteur de la rame déclare avoir ralenti pour laisser passer un véhicule léger sur la première traversée. Sur l'enregistrement de la centrale tachymétrique, nous constatons seulement une réduction de l'accélération.

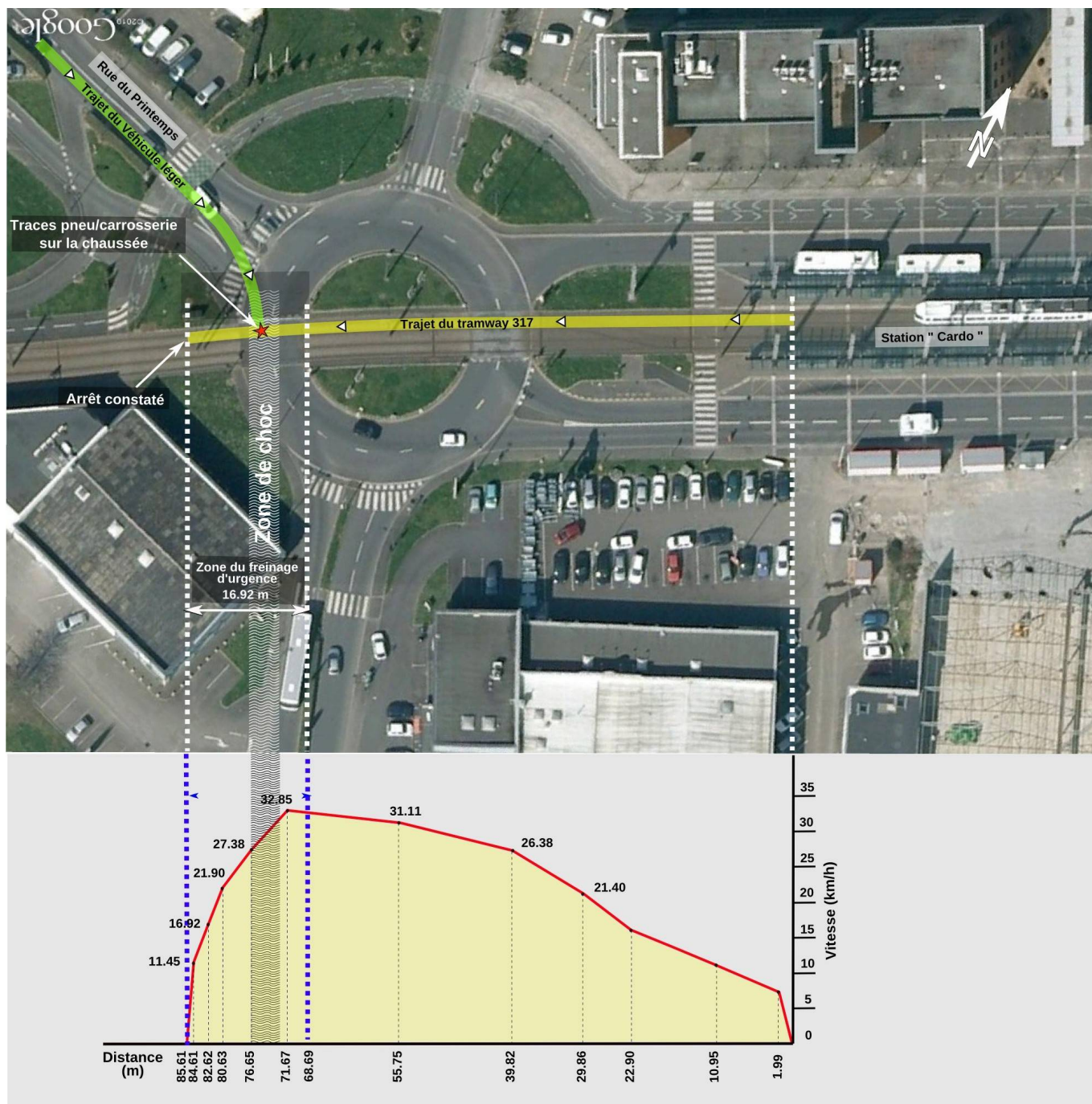


Figure 16 : Analyse des enregistrements de la centrale tachymétrique de la rame 317 entre la station « Le Cardo » et le lieu de l'accident

3.9.2 - La chronologie des évènements

L'analyse des informations horodatées de la centrale permet de reconstituer une chronologie probable de la séquence précédant l'accident.

Les estimations d'horaires sont arrondies à la demi-seconde, ce qui correspond à la précision de l'analyse.

Horaire estimé	Délai depuis le passage sur la boucle de détection	Evènement
14:05:45,50	0	Le tramway arrive à la station « Le Cardo » et passe sur la boucle de détection
14:05:50,50	5	Le tramway s'arrête à la station
14:06:05,00	19,5	Le tramway redémarre de la station
14:06:06,50	21	Les signaux R22j du carrefour passent au jaune fixe
14:06:11,50	26	Les signaux R24 passent au rouge clignotant et les signaux R22j au rouge fixe
14:06:15,50	30	Le signal R17 passe au vertical
14:06:15,50	30	La rame passe au niveau du R17 et aborde la première traversée routière
14:06:19,50	34	Le conducteur du tramway aborde la seconde traversée routière et déclenche le freinage d'urgence
14:06:20,50	35	Le tramway percute le véhicule léger
14:06:23,50	38	Le tramway s'immobilise

Cette analyse montre que les signaux R22j et R24 sont passés au rouge 9 secondes environ avant l'accident.

La conductrice du véhicule léger a d'abord franchi le feu R22j 6 secondes environ après sa mise au rouge, puis le feu R24 8 secondes environ après sa mise au rouge.

Elle montre également que le conducteur du tramway a semble-t-il franchi le signal R17 juste au moment où celui-ci passait au vertical.

3.10 - Mesures de sécurité prises par l'exploitant

La SEMITAN s'est engagée depuis plusieurs années dans un programme d'amélioration de la sécurité de son réseau.

Les principales mesures réalisées ou prévues par l'exploitant dans ce cadre portent sur :

- un renforcement de la visibilité de la signalisation lumineuse de barrage et une optimisation des temps de rouge ;
- la suppression de certains signaux R22j en entrée de carrefours giratoires, notamment dans les secteurs fréquentés par des usagers non locaux ;
- la réalisation d'aménagements de voirie destinés à limiter la vitesse des véhicules et à améliorer la visibilité de la plate-forme du tramway :
 - réduction de la partie circulée des giratoires par la mise en place de barrettes en résine ;
 - réduction à une voie des entrées et sorties des giratoires ;
 - augmentation du contraste de la plate-forme par un traitement coloré ou texturé et par la pose de bordures en continuité de celle-ci ;

- vérification des conditions de visibilité en entrée de carrefours.
- la limitation des conséquences directes d'un impact sur un obstacle fixe :
 - mise en place de poteaux fusibles pour supporter la signalisation ;
 - déplacement de certains poteaux supports des lignes aériennes de contact (LAC) situés dans les zones les plus à risque.

Concernant le carrefour « Cardo/Printemps », le plan d'action porte sur la suppression des obstacles fixes et la modification du giratoire.

Lors de l'été 2010, les supports de feux du carrefour « Cardo/Printemps » ont été remplacés par des supports fusibles et les deux supports de LAC* présents dans la zone devant être libre de tout obstacle fixe ont été déplacés.

Par ailleurs, une étude de réaménagement du carrefour « Cardo/Printemps » a été lancée en 2008. Elle porte sur la modification du plan de circulation autour de la zone du Cardo, la suppression du débouché de l'allée Mékarski sur le carrefour giratoire et la réduction à une voie de l'anneau par la pose de barrettes sur la voie centrale de celui-ci. La réalisation des travaux est envisagée pour l'été 2011.

3.11 - Retour d'expérience sur les accidents similaires

3.11.1 - *Le bilan de l'accidentologie des tramways entre 2003 et 2009 établi par le STRMTG*

La dernière analyse effectuée par le STRMTG concernant l'accidentologie des tramways porte sur les événements de l'année 2009 et sur son évolution entre 2003 et 2009.

Les données analysées par le STRMTG proviennent des déclarations des exploitants. Le parc concerné comprend 44 lignes réparties dans 19 agglomérations pour un total de 43 millions de km parcourus par les tramways et 552 millions de voyages.

Trois catégories d'événements constituent l'essentiel des déclarations : les collisions avec des tiers, les accidents de voyageurs et, dans une moindre mesure, les autres événements. Sur l'année 2009, 1 698 événements ont été recensés dont 1 082 collisions avec des tiers ayant occasionné 6 tués, 22 blessés graves et 915 blessés légers.

Pour faciliter la comparaison du niveau de risque présenté par chaque configuration pour les événements de type collision avec un tiers, le STRMTG a ramené le nombre d'événements constatés au nombre de configurations de carrefours correspondantes présentes sur les réseaux.

Cette analyse montre qu'entre 2003 et 2009, parmi tous les types d'intersection entre tramway et voirie routière, la configuration « rond-point ou giratoire » est toujours la plus problématique, le risque étant presque 3 fois plus élevé que pour la configuration « carrefour simple ».

L'étude montre, par ailleurs, une stabilité de l'indicateur nombre de collisions par giratoire sur la période 2003-2009.

* Terme figurant dans le glossaire

3.11.2 - Les enseignements de l'accident de juin 2007 à Saint-Herblain (44)

La collision entre un tramway et une voiture particulière survenue le 4 juin 2007 à Saint-Herblain dans l'agglomération nantaise a fait l'objet d'une enquête du BEA-TT (rapport BEA-TT n°2007-008 publié en décembre 2008).

Le tramway, qui venait de quitter sa station, a percuté une voiture, qui s'était engagée sur le carrefour giratoire malgré la signalisation au rouge. Le conducteur de celle-ci, qui était de passage à Nantes et ne connaissait pas l'agglomération, n'avait perçu ni la signalisation lumineuse ni le tramway.

La rame a heurté la voiture sur son flanc droit puis l'a poussée sur une quarantaine de mètres. La voiture a alors heurté un poteau support de ligne aérienne de contact, contre lequel elle a été broyée.

A l'occasion de cette enquête, il est apparu que la sécurité des carrefours giratoires traversés par des tramways pose des problèmes spécifiques ; en particulier, leur lisibilité constitue un enjeu de sécurité important, notamment pour des usagers ne connaissant pas le carrefour, comme c'était le cas pour l'automobiliste accidenté.

Les recommandations du BEA-TT appelaient l'exploitant (SEMITAN) :

- à mettre en œuvre sur son réseau un programme de modification de l'implantation des poteaux supports de ligne aérienne de contact (LAC) sur les carrefours les plus préoccupants ;
- à achever son programme de renforcement de la sécurité des carrefours giratoires dans le cadre du plan d'aménagement pluriannuel décidé par la communauté urbaine.

Les recommandations du BEA-TT appelaient également les autorités et services compétents au niveau national (DSCR*, CERTU) à mettre notamment en œuvre les actions suivantes :

- engager une communication nationale visant à faire mieux connaître aux usagers le caractère prescriptif du feu rouge clignotant ;
- poursuivre l'expérimentation des signalisations en barrage de carrefour pour promouvoir celles qui présentent les meilleurs gages de sécurité. Le BEA-TT s'était interrogé sur la pertinence du signal R24 en barrage du fait que ce signal pouvait être mal interprété par certains usagers (confusion avec un orange clignotant) lorsqu'il est employé pour un tramway urbain, alors qu'il est plutôt connu pour protéger des passages à niveau ferroviaires. Il avait invité la DSCR et le CERTU à poursuivre les expérimentations de différentes utilisations en feux de barrage des signaux réglementaires actuels afin d'en apprécier l'efficacité du point de vue de leur respect par les usagers de la route et à recenser les pratiques européennes, en vue de définir une doctrine d'utilisation. Il convenait notamment de comparer les feux de barrage tricolores classiques et les feux R24.

Depuis la publication du rapport d'enquête du BEA-TT, les instructions applicables à ces signaux R24 ont évolué et privilégient maintenant leur utilisation pour proté-

* Terme figurant dans le glossaire

ger des traversées routières de tramways.

L'instruction interministérielle sur la signalisation routière a en effet été modifiée par arrêté du 10 avril 2009 publié le 28 juillet 2009 :

- elle préconise d'utiliser en règle générale le R24 dans le cas d'une traversée d'un carrefour giratoire par des voies exclusivement réservées aux véhicules des services réguliers de transport en commun ;
- elle déconseille l'emploi d'autres signaux lumineux au voisinage de R24.

On peut cependant observer que ces nouvelles dispositions, qui étaient en préparation lors de la publication du rapport du BEA-TT, ont été prises avant que l'ensemble des résultats d'expérimentations ou les retours d'expérience utiles aient pu être réunis et exploités pour éclairer ce choix.

Cette évolution rend d'autant plus importante la recommandation du BEA-TT relative à la communication nationale sur le R24.

Parallèlement, le CERTU, à la demande de la DSCR, a réinitialisé en septembre 2009 un groupe de travail avec les acteurs de la profession, portant notamment sur une analyse des avantages et inconvénients de l'utilisation du R24. Les principaux travaux de ce groupe portent en 2011 sur :

- une synthèse des études existantes sur l'utilisation du R24, ses avantages et ses inconvénients ;
- un inventaire de ce qui existe à l'étranger.

Enfin, il convient de signaler que le STRMTG et les exploitants font actuellement évoluer le dispositif de recueil national des accidents de tramway, qui saisira des informations plus précises sur l'infrastructure et sur la signalisation pour les accidents recensés. Cela devrait permettre de disposer progressivement d'une base de retour d'expérience élargie et approfondie pour évaluer l'incidence des différents types de signaux lumineux de barrage.

4 - Déroulement de l'accident et des secours

4.1 - Déroulement de l'accident

Le temps est ensoleillé. La température est de l'ordre de 20°C. La chaussée est sèche. La visibilité est bonne.

Peu après 14h, le tramway circule sur l'esplanade du Cardo à Orvault, en direction du terminus Grand Val.

A l'approche de la station « Le Cardo », il passe sur la boucle de détection et déclenche le cycle de la signalisation lumineuse du carrefour.

Cette détection fera passer au rouge les feux routiers R22j et R24 du giratoire « Cardo/Printemps » 26 secondes plus tard, et ouvrira le signal R17 autorisant la rame à traverser le carrefour 30 secondes plus tard.

Le tramway s'arrête 14,5 secondes environ en station, puis redémarre.

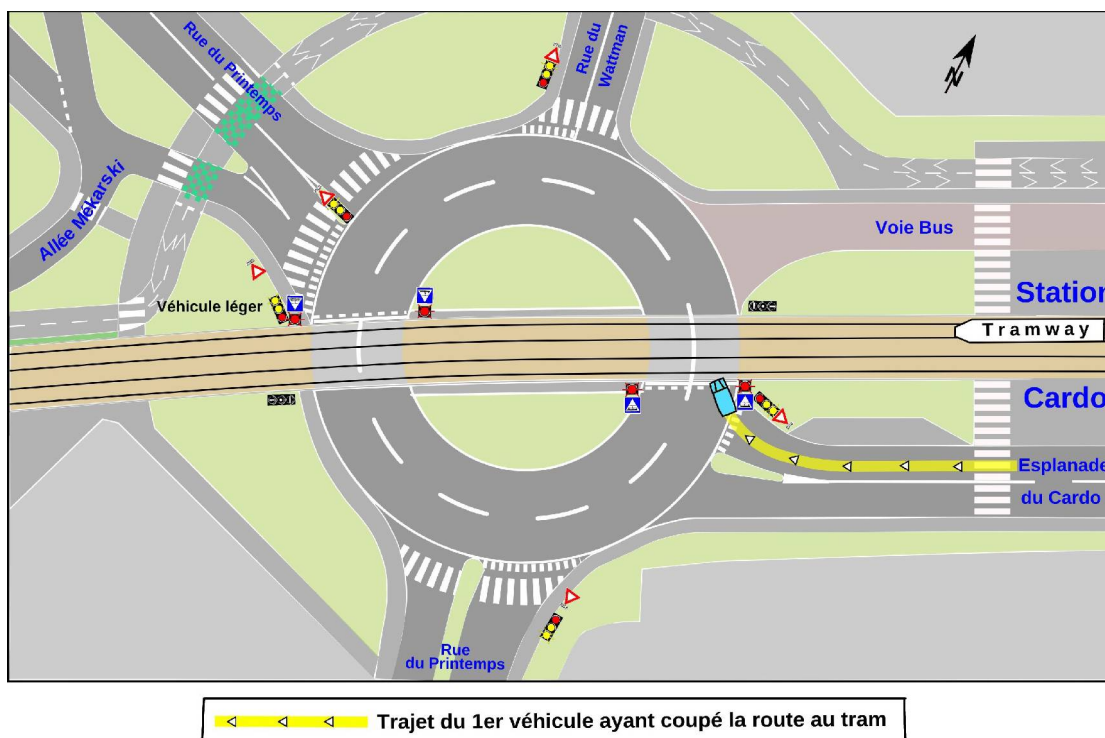


Figure 17 : Un premier véhicule coupe la route au tramway au niveau de la première traversée routière

Juste avant de s'engager sur le giratoire, le conducteur du tramway voit un automobiliste arriver sur sa gauche au niveau de la première traversée routière ; il relâche son accélération pour le laisser passer, puis continue sa route. L'automobiliste est passé devant le tramway environ 2 secondes avant que celui-ci ne franchisse le R17 ; il a donc (cf chronologie en 3.9.2) franchi le R24 alors que celui-ci est au rouge clignotant depuis 2 secondes environ. A noter que le fonctionnement du R24 ne comporte, de par la conception de ce signal, aucune phase orange annonçant le passage au rouge clignotant ; il est donc inévitable que des automobilistes continuent à le franchir immédiatement après son passage au rouge.

Le tramway franchit le signal R17 au moment où celui-ci passe au vertical et s'engage dans le rond-point environ 4 secondes après la mise au rouge des signaux lumineux routiers.

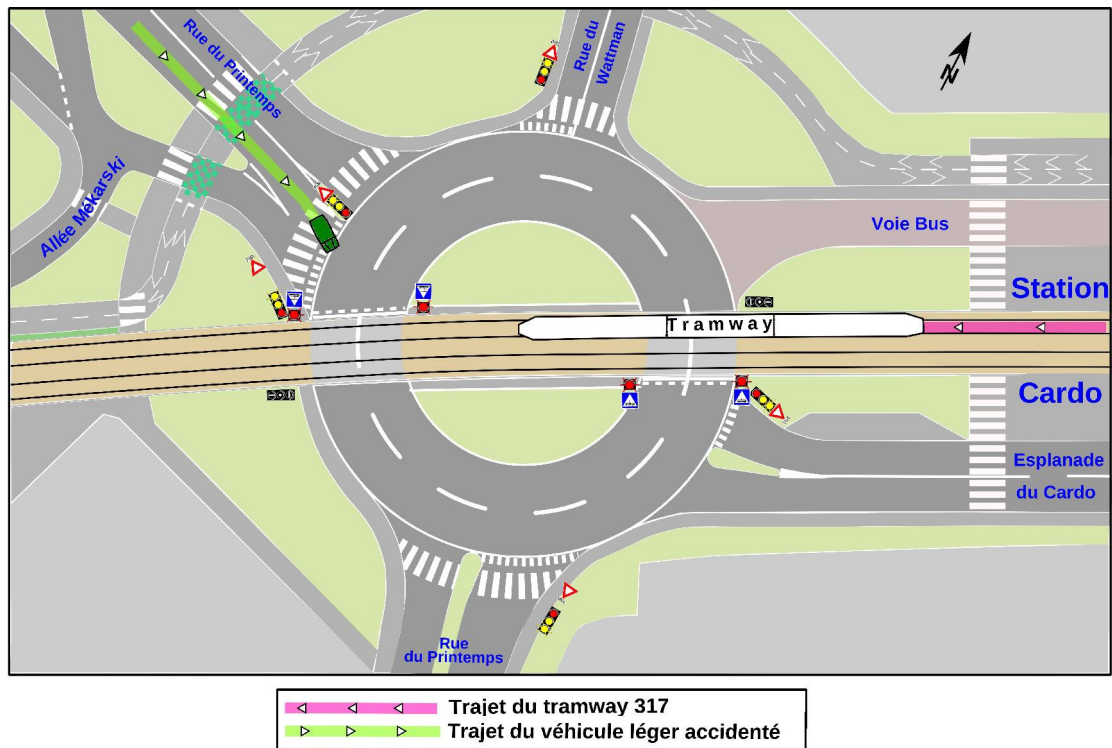


Figure 18 : La Citroën Saxo s'engage sur l'anneau du giratoire alors que le tramway a franchi la première traversée routière

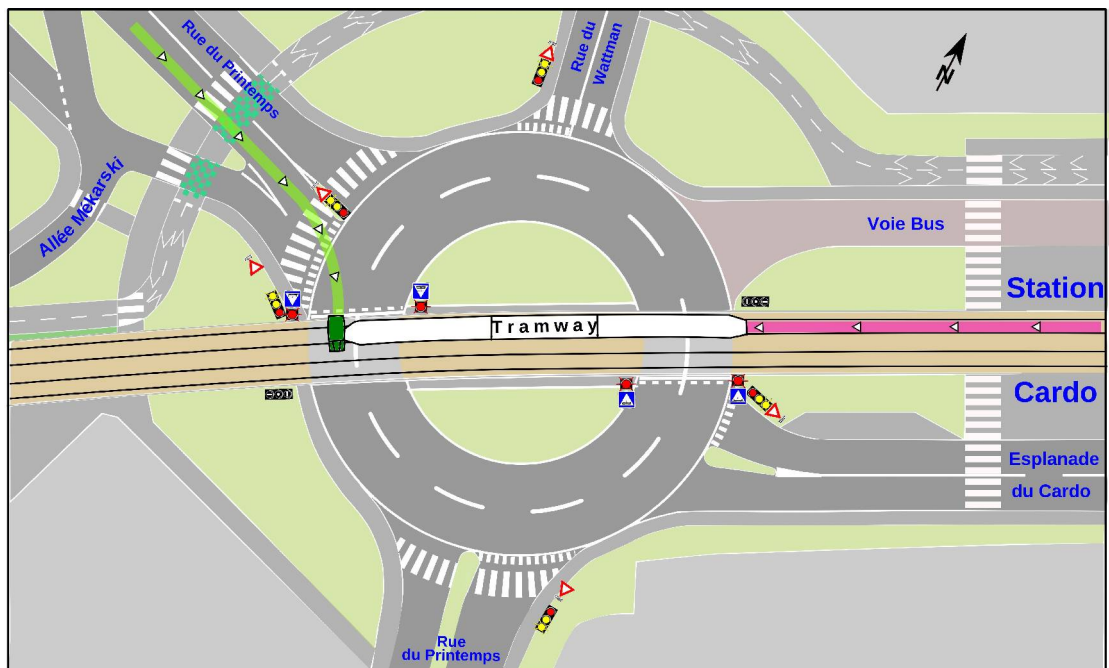


Figure 19 : Position des véhicules au moment du choc

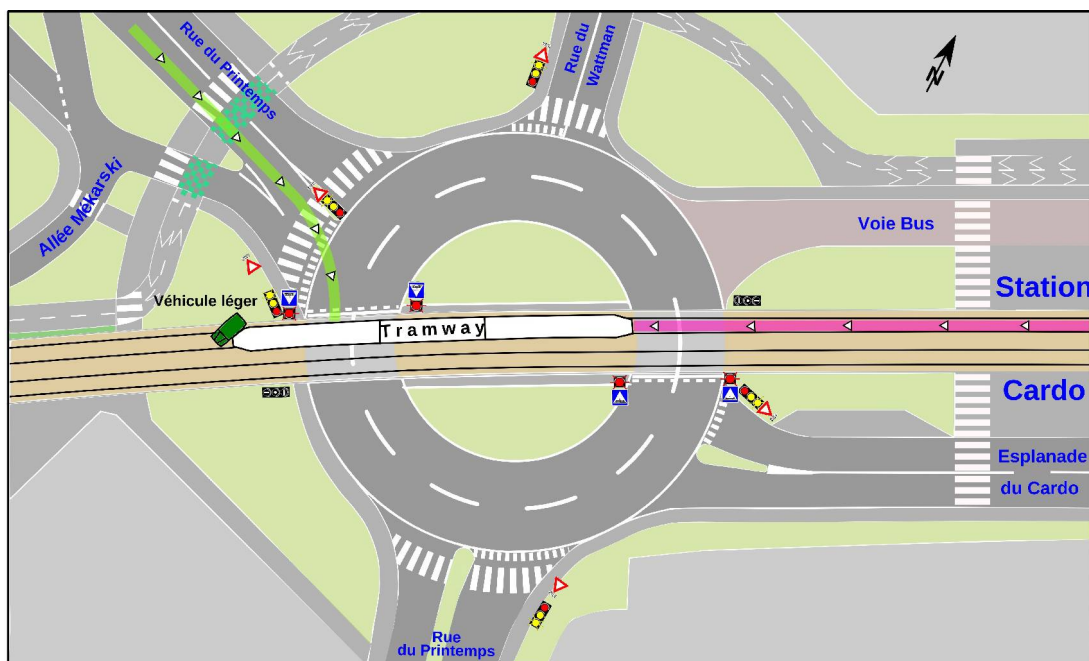


Figure 20 : Position finale du véhicule léger et du tramway après la collision

La Citroën Saxo en provenance de la rue du Printemps s'engage sur l'anneau après avoir franchi le signal R22j situé à l'entrée du giratoire ; elle a franchi ce feu alors que celui-ci était au rouge depuis environ 6 secondes après 5 secondes de jaune fixe. Le véhicule s'engage ensuite sur la traversée de la voie de tramway, sans que la conductrice n'aperçoive le feu rouge clignotant depuis environ 8 secondes.

La conductrice, qui ne résidait que depuis 4 semaines dans ce quartier, n'avait peut-être pas l'habitude de franchir ce carrefour et ne semble en pas avoir perçu la signalisation lumineuse particulièrement complexe.

Le conducteur du tramway aperçoit alors ce véhicule arrivant sur sa droite qui s'engage sur la plate-forme. Il actionne le gong et déclenche le freinage d'urgence mais ne peut éviter l'impact. Il percute le véhicule, puis le pousse sur une quinzaine de mètres sans rencontrer d'obstacle, avant de s'immobiliser 3 secondes après le choc.



Figure 21 : Position du véhicule léger et du tramway après la collision

4.2 - Les secours

Les secours mobilisent les sapeurs-pompiers de Saint-Herblain et d'Orvault ainsi que le SAMU. L'accident mobilise également une équipe du commissariat d'Orvault ainsi que des policiers de la Brigade Accidents et Délits Routiers (BADR).

La circulation des tramways a été interrompue pendant 1 heure 40 minutes entre la station « René Cassin » et le terminus « Orvault-Grand Val ».

4.3 - Bilan des victimes

La conductrice du véhicule léger est grièvement blessée et évacuée par les pompiers, après désincarcération, sur le CHU de Nantes. Elle y décèdera dans la soirée des suites de ses blessures.

Le conducteur du tramway et les 5 passagers présents dans la rame au moment de l'accident sont tous indemnes.

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

L'examen du déroulement de l'accident amène le BEA-TT à rechercher des orientations préventives dans les domaines ci-après :

- le respect des feux de signalisation du carrefour « Cardo/Printemps » par les usagers routiers ;
- l'aménagement et le fonctionnement de ce carrefour.

5.1 - Le respect des feux de signalisation du carrefour « Cardo/Printemps » par les usagers routiers

La cause première de l'accident est le franchissement par la conductrice du véhicule léger des deux lignes de feux au rouge, d'abord le signal de contrôle de flot R22j situé à l'entrée du giratoire et ensuite le signal d'arrêt R24 implanté au niveau de la plate-forme du tramway.

Il n'a pas été possible de déterminer les raisons ayant conduit cette conductrice à franchir ces deux signaux d'arrêt, mais les constats effectués conduisent à s'interroger sur :

- la perception par la conductrice de la signalisation lumineuse de barrage ;
- la compréhension de la signification du feu rouge clignotant ;
- la crédibilité de la signalisation.

5.1.1 - *La perception par la conductrice de la signalisation lumineuse de barrage*

Le franchissement au rouge de deux signaux d'arrêt successifs (R22j et R24) pourrait avoir été causé par une absence de perception de ceux-ci par la conductrice dont l'attention était mobilisée par la lecture de son environnement. Il semble donc nécessaire de renforcer rapidement la visibilité de cette signalisation lumineuse.

Comme cela a été indiqué au paragraphe 3.10, la SEMITAN, mandatée par l'autorité organisatrice des transports « Nantes Métropole », s'est engagée depuis plusieurs années dans un programme d'amélioration de la visibilité de la signalisation lumineuse portant pour l'essentiel sur un doublement des R24 et dans un programme d'optimisation des temps de rouge. Il convient qu'elle achève dans les meilleurs délais possibles ce programme de travaux.

Ceci amène le BEA-TT à formuler la recommandation suivante :

Recommandation R1 (Nantes Métropole, SEMITAN)

Achever dans les meilleurs délais possibles le programme de renforcement de la signalisation lumineuse déjà décidé afin d'en améliorer la visibilité, la compréhension et la crédibilité (doublement des R24, optimisation des temps de rouge ...).

5.1.2 - La compréhension de la signification du feu rouge clignotant

La conductrice a pu mal interpréter la signalisation de barrage clignotante (R24 rouge), soit par méconnaissance de sa signification, soit par une confusion avec un signal jaune clignotant.

Les difficultés apparentes de compréhension du signal R24 appellent une réflexion sur le choix de ce signal par rapport aux autres signaux d'arrêt disponibles pour le franchissement de lignes de tramway ainsi que sur l'information des usagers sur la signification de ce signal.

Évaluation comparative des signaux de barrage disponibles

A l'occasion de l'enquête relative à la collision entre un tramway et une voiture particulière survenue le 4 juin 2007 à Saint-Herblain dans l'agglomération nantaise, le BEA-TT avait recommandé à la DSCR et au CERTU de poursuivre les expérimentations de différentes utilisations, dans des carrefours giratoires traversés par des tramways, de signaux lumineux de barrage réglementaires actuels afin d'en apprécier l'efficacité du point de vue de leur respect par les usagers de la route et de recenser les pratiques européennes, en vue de définir une doctrine d'utilisation (cf 3.11.2 ci dessus).

Comme cela a été indiqué, le choix intervenu en 2009 lors de la révision de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière s'est porté sur l'utilisation du feu R24 en barrage pour les nouveaux aménagements, avant que les résultats d'expérimentations et les retours d'expérience utiles aient pu être réunis et exploités pour éclairer ce choix.

En conséquence, le BEA-TT est amené à formuler la recommandation suivante :

Recommandation R2 (DSCR, CERTU)

Mener à son terme l'évaluation comparative des dispositifs de signalisation utilisables en feux de barrage dans des traversées de carrefour par des tramways (notamment le signal R24 et le feu tricolore R11v), afin d'en apprécier l'efficacité du point de vue de la sécurité et de leur respect par les usagers de la route et en tirer les conséquences sur les préconisations d'utilisation.

Information des usagers sur la signification du signal R24

Le signal R24 est surtout connu par les usagers routiers comme un signal de barrage aux passages à niveau de rase campagne. Il est mal connu dans des implantations en milieu urbain où il apparaît inhabituel, surtout aux non résidents.

A l'occasion de l'enquête relative à l'accident de Saint-Herblain évoqué plus haut, le BEA-TT avait également recommandé à la DSCR d'engager une communication, au plan national, visant à mieux faire connaître la signification et la portée du signal R24. Cette seconde recommandation reste actuelle. Elle s'impose encore plus dans un contexte où l'emploi du signal R24 est préconisé pour la protection des passages de tramways.

En conséquence, le BEA-TT est amené à renouveler la recommandation suivante :

Recommandation R3 (DSCR)

Engager une communication, au plan national, en association avec les autorités organisatrices des transports, le GART* et l'UTP*, visant à mieux faire connaître la signification et la portée du signal R24, notamment en milieu urbain pour les franchissements de lignes de tramway.

5.1.3 - La crédibilité de la signalisation

Comme cela a été indiqué au paragraphe 3.6.5. les enquêteurs du BEA-TT ont constaté lors de leur visite sur place le franchissement du R24 au rouge clignotant par quelques usagers, même au-delà des premières secondes de fermeture du signal pendant lesquelles des franchissements intempestifs sont inévitables faute d'avertissement du passage au rouge. Cette observation tendrait à montrer que le franchissement de ce signal R24 est relativement fréquent.

Les enquêteurs du BEA-TT ont également constaté lors de leur visite sur place le franchissement délibéré par plusieurs usagers du signal R22j au rouge en entrée de giratoire. Il apparaît donc que, pour ces usagers :

- ou bien ils n'associent pas le R22j au tramway et, comme il n'y a pas de véhicule sur l'anneau routier, ils passent ;
- ou bien ils associent le R22j au tramway, mais comme ils voient celui-ci encore arrêté dans sa station située avant le giratoire, ils passent.

On peut s'interroger sur l'intérêt de maintenir les signaux R22j de contrôle de flot en entrée de giratoire, alors que les usagers routiers sont plutôt habitués à un fonctionnement classique de giratoire sans feux.

En ce qui concerne les franchissements du R24 au rouge clignotant, il semble nécessaire, afin de faire respecter cette signalisation, que les forces de l'ordre réalisent des contrôles réguliers sur place.

5.2 - L'aménagement et le fonctionnement du carrefour « Cardo/Printemps »

Ce carrefour est particulièrement complexe et d'une lecture difficile, notamment pour les usagers venant de la rue du Printemps.

* Terme figurant dans le glossaire



Figure 22 : Giratoire et plate-forme du tramway vus depuis la rue du Printemps

A l'approche du carrefour, ils doivent prêter attention aux usagers provenant sur leur droite de l'allée Mékarski qui débouche sur la rue du Printemps juste à la hauteur du giratoire, simultanément vérifier l'état de la signalisation R22j pour pouvoir s'engager sur l'anneau, faire attention aux usagers déjà sur l'anneau venant de leur gauche sur deux files, puis vérifier que les signaux R24 sont bien éteints et que la plate-forme du tramway est libre pour s'engager sur cette dernière.

Pour les usagers venant de la rue du Printemps, le R22j se trouve à gauche, le feu de droite étant sur le bord de l'allée Mékarski.

Le signal R24 situé à droite est orienté pour les usagers circulant sur l'anneau et n'est pas immédiatement visible des usagers provenant de la rue du Printemps et de l'allée Mékarski.

En outre, l'environnement immédiat du carrefour ne facilite pas la lecture du signal d'arrêt R24 situé au centre de l'anneau et orienté pour les usagers venant de la rue du Printemps et de l'allée Mékarski, car celui-ci est littéralement « perdu » devant une forêt de panneaux.

La présence sur un même poteau d'un signal R22j et d'un signal R24 peut de plus induire une confusion entre le signal clignotant rouge du R24 signifiant un arrêt absolu et un signal clignotant jaune permettant le passage.

L'ensemble de ces éléments rendant la lecture du carrefour particulièrement compliquée peut mettre en difficulté un conducteur qui ne saurait pas correctement prendre en compte ces informations multiples.

Il semble que c'est ce qui a pu se passer pour la conductrice qui a franchi les deux lignes de feux, le R22j puis le R24, et s'est engagée sur la plate-forme du tramway

au moment de l'arrivée de celui-ci. On peut penser que son attention était monopolisée par la surveillance des véhicules routiers présents sur le carrefour et qu'elle n'a pas vu ou compris la signification de la signalisation lumineuse.

Les statistiques d'accidentalité du carrefour « Cardo/Printemps » montrent par ailleurs que ce carrefour est particulièrement accidentogène, notamment sur sa traversée ouest.

Cela n'avait pas échappé à l'exploitant et à la communauté urbaine qui ont engagé en 2008 une étude de réaménagement de ce carrefour afin d'en améliorer la sécurité.

Les principales modifications envisagées sur le carrefour dans le cadre de cette étude qui a été présentée au BEA-TT, intègrent les recommandations du guide CERTU/STRMTG précité. Elles portent sur le plan de circulation de l'esplanade du Cardo, sur la géométrie du giratoire « Cardo/Printemps » ainsi que sur la signalisation lumineuse.

Ceci conduit le BEA-TT à formuler la recommandation suivante :

Recommandation R4 (Nantes Métropole, SEMITAN)

Achever l'étude de réaménagement des carrefours de l'esplanade du « Cardo » engagée en 2008, réaliser les travaux dans les meilleurs délais possibles, puis en suivre l'efficacité sur l'accidentalité.

6 - Conclusions et recommandations

6.1 - Causes de l'accident

La cause directe de l'accident est le non respect des signaux lumineux R22j et R24 au rouge par le véhicule léger.

Le manque de lisibilité du carrefour et de la signalisation lumineuse a pu contribuer à un défaut de perception de ces signaux. Ce manque de lisibilité résulte du cumul de plusieurs facteurs :

- la complexité du carrefour (conflits tramway/voitures, nombre important d'entrées) ;
- une visibilité médiocre de la signalisation lumineuse dans le contexte urbain ;
- l'ambiguïté ou la mauvaise perception de certains signaux.

6.2 - Recommandations

Le BEA-TT émet 4 recommandations :

Recommandation R1 (Nantes Métropole, SEMITAN)

Achever dans les meilleurs délais possibles le programme de renforcement de la signalisation lumineuse déjà décidé afin d'en améliorer la visibilité, la compréhension et la crédibilité (doublement des R24, optimisation des temps de rouge ...).

Recommandation R2 (DSCR, CERTU)

Mener à son terme l'évaluation comparative des dispositifs de signalisation utilisables en feux de barrage dans des traversées de carrefour par des tramways (notamment le signal R24 et le feu tricolore R11v), afin d'en apprécier l'efficacité du point de vue de la sécurité et de leur respect par les usagers de la route et en tirer les conséquences sur les préconisations d'utilisation.

Recommandation R3 (DSCR)

Engager une communication, au plan national, en association avec les autorités organisatrices des transports, le GART et l'UTP, visant à mieux faire connaître la signification et la portée du signal R24, notamment en milieu urbain pour les franchissements de lignes de tramway.

Recommandation R4 (Nantes Métropole, SEMITAN)

Achever l'étude de réaménagement des carrefours de l'esplanade du « Cardo » engagée en 2008, réaliser les travaux dans les meilleurs délais possibles, puis en suivre l'efficacité sur l'accidentalité.

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Plans de situation

Annexe 3 : Quelques signaux routiers aux interfaces avec une ligne de tramway

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat

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

La Défense, le 04 mai 2010

DECISION

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

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

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

Vu les circonstances de la collision survenue le 27 avril 2010 entre un tramway et un véhicule léger sur la commune de Nantes (Loire-Atlantique), et l'accord du ministre chargé des Transports,

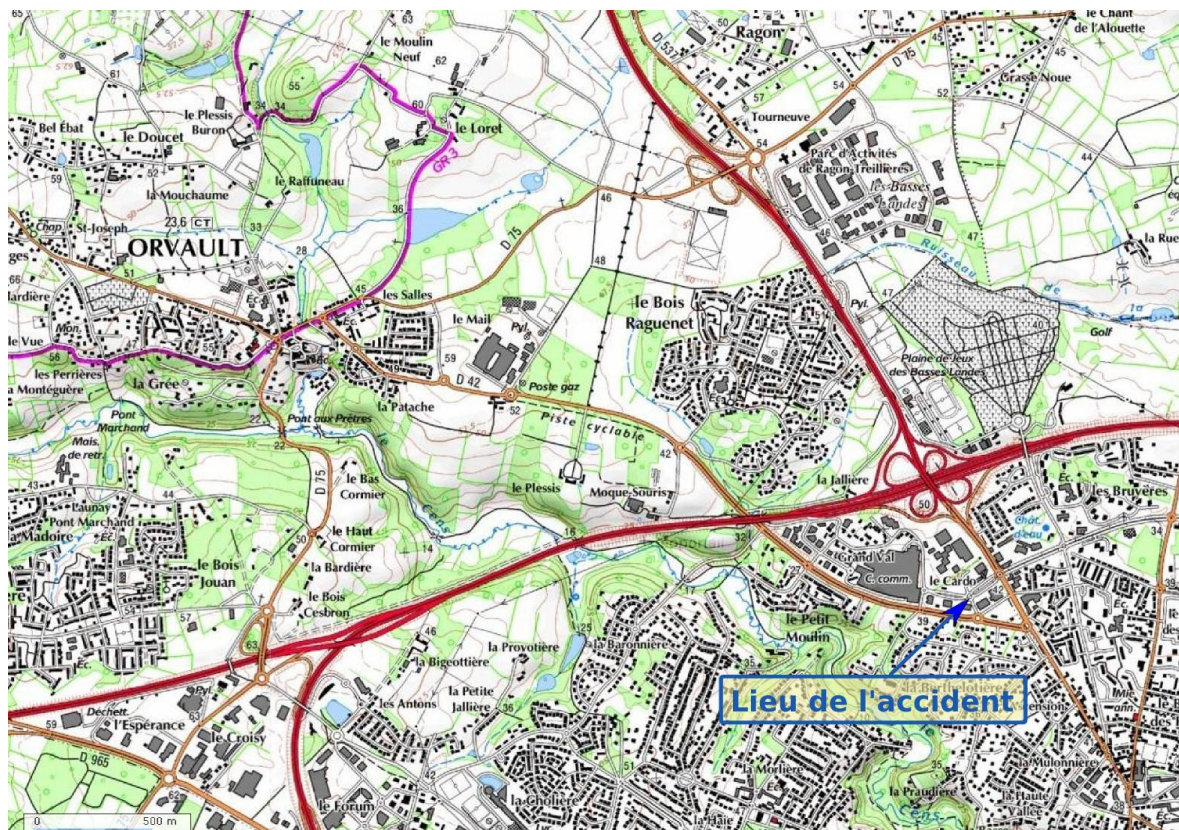
DECIDE

Article 1 : Une enquête technique, effectuée dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002 susvisée, est ouverte concernant la collision survenue le 27 avril 2010 entre un tramway et un véhicule léger sur la commune de Nantes (Loire-Atlantique).

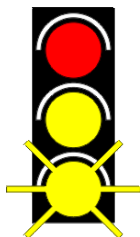
Le directeur du BEA-TT

Jean-Gérard KOENIG

Annexe 2 : Plans de situation



Annexe 3 : Quelques signaux routiers aux interfaces avec une ligne de tramway



R22j : signal de contrôle de flot
bicolore jaune clignotant, jaune, rouge



R11v : signal tricolore
vert, jaune, rouge



R24 : signal d'arrêt



..... fermeture

..... annonce

..... ouverture

R17 : signal pour véhicules des
services réguliers de transport en
commun



C20c : traversée de tramway



A9 : Traversée de voies de tramways



AB3a : cédez le passage



AB25 : Carrefour à sens giratoire

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

**Présent
pour
l'avenir**

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

Tour Voltaire – 92055 LA DEFENSE CEDEX
Tél. : +33(0)1 40 81 21 83 – Fax : + 33(0)1 40 81 21 50

cgpc.beatt@developpement-durable.gouv.fr
www.bea-tt.developpement-durable.gouv.fr

www.developpement-durable.gouv.fr