

BEA-TT

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

*Rapport d'enquête technique
sur le tamponnement
de deux rames de tramway
survenu le 12 mai 2010
à Montpellier (34)*

juillet 2011

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

**Présent
pour
l'avenir**



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

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

Affaire n° BEATT-2010-007

**Rapport d'enquête technique
sur le tamponnement
de deux rames de tramway
survenu le 12 mai 2010
à Montpellier (34)**

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 le tamponnement de deux rames de tramway survenu le 12 mai 2010 à Montpellier (34)

N°ISRN : EQ-BEAT--11-10--FR

Proposition de mots-clés : accident, transport guidé, transport en commun, dérive, formation, habilitation, stress

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 - Secours et bilan.....	13
1.3 - Engagement et organisation de l'enquête.....	13
2 - CONTEXTE DE L'ACCIDENT.....	15
2.1 - Le réseau de tramway de Montpellier.....	15
2.1.1 -Présentation générale.....	15
2.1.2 -Le tronc commun entre les lignes 1 et 2 situé rue Jules Ferry.....	16
2.2 - Les caractéristiques des rames du tramway.....	17
2.2.1 -Le système d'alimentation et de motorisation.....	18
2.2.2 -Les protections électriques des moteurs.....	19
2.2.3 -Le système de freinage.....	19
3 - COMPTE RENDU DES INVESTIGATIONS EFFECTUÉES.....	23
3.1 - Résumé des témoignages.....	23
3.1.1 -Témoignage du conducteur de la rame 2032 (bleue) tamponneuse.....	23
3.1.2 -Témoignage du conducteur de la rame 2053 (orange) tamponnée.....	23
3.2 - Relevé de la position des rames après l'accident et des dégâts occasionnés.....	23
3.3 - Exploitation des enregistreurs de données.....	24
3.3.1 -Exploitation de la bande tachymétrique de la rame 2032 (bleue).....	24
3.3.2 -Exploitation de l'enregistreur « Agate » de la rame 2032 (bleue)	26
3.3.3 -Exploitation de la bande tachymétrique de la rame 2053 (orange).....	27
3.3.4 -Exploitation de la vidéo de la rame 2053 (orange).....	27
3.4 - Examen des documents d'exploitation et des équipements.....	28
3.4.1 -La qualification du conducteur de la rame 2032 (bleue).....	28
3.4.2 -Le processus de recrutement.....	28
3.4.3 -Le processus de formation et d'habilitation à la conduite de tramways.....	29
3.4.4 -Le graissage et le nettoyage des rails.....	30
3.4.5 -Le fonctionnement de la zone de manœuvre.....	30
3.4.6 -La maintenance de la rame 2032 et le fonctionnement de l'alimentation électrique.....	30
3.5 - Réalisation d'essais.....	31
3.5.1 -Les essais relatifs aux stratégies de démarrage.....	31
3.5.2 -Les essais relatifs aux défauts « brosse » et à l'isolement des moteurs.....	31
3.5.3 -Les essais relatifs aux démarrages en mode dégradé.....	32
3.5.4 -Les essais relatifs aux capacités de freinage de la rame en dérive.....	32

3.6 - Les accidents comparables.....	32
4 - DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT ET DES SECOURS.....	35
4.1 - La situation avant l'accident.....	35
4.2 - Le déroulement de l'accident.....	35
4.3 - Les actions post-accident.....	37
5 - ANALYSE DES CAUSES ET FACTEURS ASSOCIÉS, ORIENTATIONS PRÉVENTIVES.....	39
5.1 - L'arbre des causes.....	39
5.2 - La formation des conducteurs de tramway.....	40
5.2.1 -La formation aux démarrages en forte rampe.....	40
5.2.2 -Les situations complexes, d'urgence et de stress.....	41
5.2.3 -La durée de la formation initiale.....	42
5.3 - Les dispositifs techniques d'anti-dérive des rames.....	43
6 - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	45
6.1 - Causes de l'accident	45
6.2 - Recommandations.....	45
ANNEXES.....	47
Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête.....	49
Annexe 2 : Reconstitution et chronologie.....	51
Annexe 3 : Synthèse des essais réalisés sur la rampe à 6% à proximité de la station « Hauts de Massane » du tramway de Montpellier, durant la nuit du 8 au 9 juillet 2010...	55
Annexe 4 : État des lieux des durées de formation initiale des conducteurs de tramway.....	65
Annexe 5 : Données sur le parc de matériel roulant des réseaux de tramway sur fer français.....	69

Glossaire

- **AOT** : Autorité Organisatrice des Transports
- **BIRMTG-C** : Bureau Interdépartemental des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés du Centre, devenu depuis le 1^{er} janvier 2011 le bureau massif central (BMC) du STRMTG
- **CdV** : Circuit de Voie
- **CQP** : Certificat de Qualification Professionnelle
- **ETF** : Equipement de Traction-Freinage
- **FNS** : Freinage Normal de Service
- **FMS** : Freinage Maximal de Service
- **FS** : Freinage de Sécurité
- **FU** : Freinage d'Urgence
- **RSE** : Règlement de Sécurité de l'Exploitation
- **TaM** : Transport de l'agglomération de Montpellier (exploitant du réseau de tramway de Montpellier)
- **PCC** : Poste de Commande Centralisé
- **STRMTG** : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
- **UTP** : Union des Transports Publics et ferroviaires

Résumé

Le réseau de tramway de Montpellier présente, rue Jules Ferry, un tronc commun entre les lignes 1 et 2 situé sur une rampe de 7%.

Le 12 mai 2010, à 17h20, la rame 2032 de la ligne 1 est arrêtée devant un feu ferroviaire au rouge, en haut de la rampe, pour laisser entrer la rame 2053 de la ligne 2 sur ce tronc commun. Le feu passant au vert, le conducteur de la rame 2032 tente de repartir, mais la rame recule et percute l'arrière de la rame 2053 qu'il vient de laisser passer quelques instants plus tôt et qui se trouve à la sortie du tronc commun juste à l'intersection entre les deux lignes concernées. Sous le choc, les deux rames déraillent.

Le bilan de cet accident est de deux blessés légers dans la rame 2053 tamponnée.

La cause directe du tamponnement est la dérive de la rame 2032. Cette dérive s'est produite car le conducteur, nouvellement formé, n'a pas adopté une stratégie adéquate de démarrage en rampe. Elle n'a, de plus, pas été stoppée parce que le conducteur, ayant perdu ses moyens, n'a pas enclenché de freinage.

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

- les gestes opérationnels pour démarrer en rampe et leur acquisition en formation ;
- l'appréciation des capacités de réaction des conducteurs lors de situations complexes, d'urgence et de stress, et la formation à ces situations ;
- la mise en œuvre de dispositifs techniques d'anti-dérive sur les nouvelles rames.

1 - Constats immédiats et engagement de l'enquête

1.1 - Circonstances de l'accident

Le réseau de tramway de Montpellier présente, rue Jules Ferry, un tronc commun entre les lignes 1 et 2 situé sur une rampe de 7%.

Le 12 mai 2010, à 17h20, la rame 2032 de la ligne 1 est arrêtée devant un feu ferroviaire au rouge, en haut de la rampe, pour laisser entrer la rame 2053 de la ligne 2 sur ce tronc commun. Le feu passant au vert, le conducteur de la rame 2032 tente de repartir, mais la rame recule et percute l'arrière de la rame 2053 qu'il vient de laisser passer quelques instants plus tôt et qui se trouve à la sortie du tronc commun juste à l'intersection entre les deux lignes concernées. Sous le choc, les deux rames déraillent.

Les plans 2 page 16 et 10 page 24 du présent rapport présentent respectivement la configuration des lieux et la position des rames après l'accident.

1.2 - Secours et bilan

L'alerte a été donnée par l'exploitant selon la procédure prévue dans son plan d'intervention et de sécurité : le conducteur de la rame 2032 a prévenu le poste de commande centralisé (PCC), qui a appelé les pompiers et les forces de l'ordre.

Deux voyageurs de la rame 2053 tamponnée ont été légèrement blessés : l'un a été conduit à l'hôpital mais n'y a pas été admis, l'autre a été soigné sur place par les pompiers.

Les conséquences matérielles sont essentiellement circonscrites aux carénages, aux phares, aux vitrages et aux traverses de tête des deux cabines arrière des rames.

L'accident a nécessité la suspension de la circulation des lignes pendant 1h20.

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 une enquête technique le 19 mai 2010, dans le cadre du titre III de la loi n° 2002-3 du 3 janvier 2002, codifié depuis le 28 octobre 2010 aux articles L. 1621-1 à 1622-2 du code des transports.

L'enquêteur technique du BEA-TT s'est rendu sur le site de l'accident et a rencontré les représentants de l'autorité organisatrice des transports et de l'exploitant.

Il a été en contact avec les autorités judiciaires, les forces de l'ordre, les pompiers et le bureau interdépartemental des remontées mécaniques et des transports guidés centre (BIRMTG-C). Il a eu communication de l'ensemble des pièces et documents nécessaires à son enquête, notamment l'enquête de flagrance menée

par le commissariat de Montpellier et le rapport règlementaire d'accident notable établi par l'exploitant.

Il a interviewé le conducteur de la rame n° 2032 et rencontré un représentant de l'entreprise à laquelle l'exploitant fait appel pour recruter ses agents de conduite. Il a mobilisé les capacités d'expertise du service technique des remontées mécaniques et des transports guidés (STRMTG) sur le matériel roulant.

Enfin, l'enquêteur technique a pu demander à l'exploitant de réaliser des essais visant à reproduire les phénomènes en jeu. Ils se sont déroulés durant la nuit du 8 au 9 juillet 2010 sur la rampe à 6% située à proximité de la station « Hauts de Massane », sensiblement similaire à celle où a eu lieu l'accident. Des essais complémentaires ont également eu lieu, sur le même site, le 3 décembre 2010 et sur le tronç commun de la rue Jules Ferry dans la nuit du 21 au 22 mars 2011. La synthèse de ces essais figure en annexe 3.

Le réseau comprend deux sections de voie communes aux deux lignes :

- le tronc commun situé rue Poséidon et avenue des Droits-de-l'Homme, entre les stations « rives du Lez » et « place de l'Europe »,
- le tronc commun situé rue Jules Ferry, où a eu lieu l'accident, en face de la gare ferroviaire Saint-Roch.

L'autorité organisatrice des transports (AOT) est la communauté d'agglomération « Montpellier agglomération » regroupant 31 communes. L'exploitation de ce réseau de tramway est confiée par une délégation de service public à la société anonyme d'économie mixte « Transport de l'agglomération de Montpellier » (TaM), partenaire du groupe Transdev.

En 2010, l'exploitant a recensé 41 millions de voyages effectués pour 3,3 millions de kilomètres parcourus par les rames.

2.1.2 - Le tronc commun entre les lignes 1 et 2 situé rue Jules Ferry

Le tronc commun aux lignes 1 et 2 situé rue Jules Ferry devant la gare ferroviaire s'étend sur une longueur de 110 m et présente une rampe de 7%.

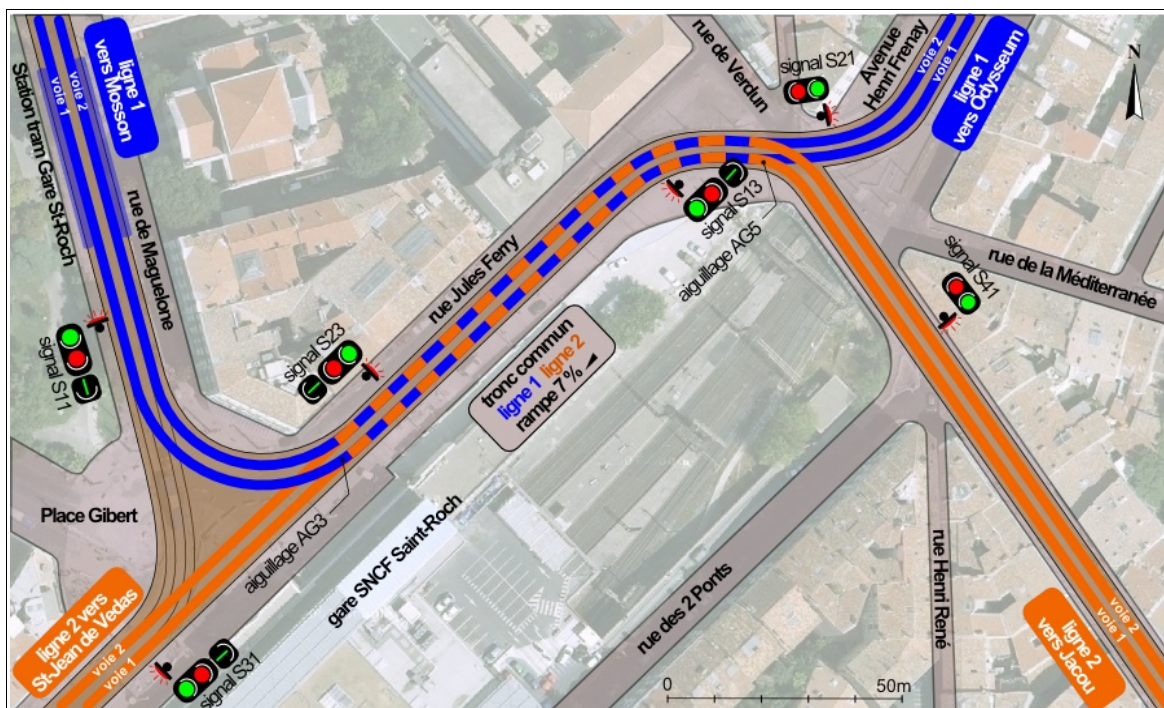


Fig. 2 : plan du tronc commun aux lignes 1 et 2 situé rue Jules Ferry

La vitesse des rames est limitée à 30 km/h sur ce tronc commun et à 10 km/h dans les courbes qui l'encadrent et au passage des aiguillages.



Fig. 3 : le tronc commun vu depuis la place Gibert



Fig. 4 : le tronc commun vu depuis le signal S13

La circulation des rames sur le tronc commun considéré est gérée par une signalisation ferroviaire composée :

- des signaux d'arrêt (rouge/vert) implantés à ses entrées (S11 et S21 pour la ligne 1 **bleue**, S31 et S41 pour la ligne 2 **orange**) et à ses deux sorties (S13 et S23),
- des indicateurs de direction implantés à la pointe de certains aiguillages. Ils indiquent au conducteur la position de chaque aiguillage : la position « voie directe » permettant d'aller tout droit est représentée par une barre verticale verte, la position « voie déviée » est représentée par une barre oblique orange.



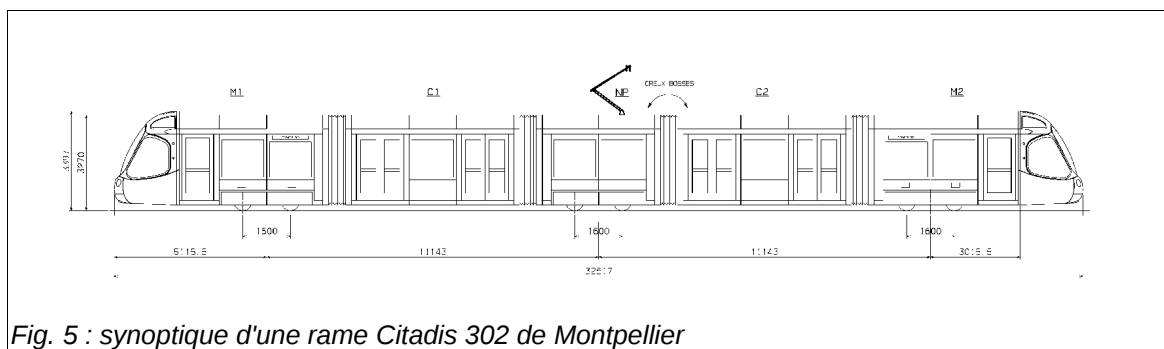
Cette signalisation ferroviaire et les aiguillages sont commandés en sécurité par des automates en fonction de la localisation des rames, de sorte à n'autoriser simultanément que des itinéraires qui ne se croisent pas. Cette localisation s'effectue grâce à des circuits de voie (CdV) et à des boucles de détection.

2.2 - Les caractéristiques des rames du tramway

Le parc de véhicules utilisé pour l'exploitation du réseau comprend 57 rames du constructeur Alstom se répartissant en :

- sur la ligne 1 **bleue** : 30 rames du modèle Citadis 401 et 3 rames du modèle Citadis 302 (les 2 premiers chiffres de la numérotation correspondent à la longueur de la rame, le deuxième à la génération du matériel) ;
- sur la ligne 2 **orange** : 24 rames du modèle Citadis 302.

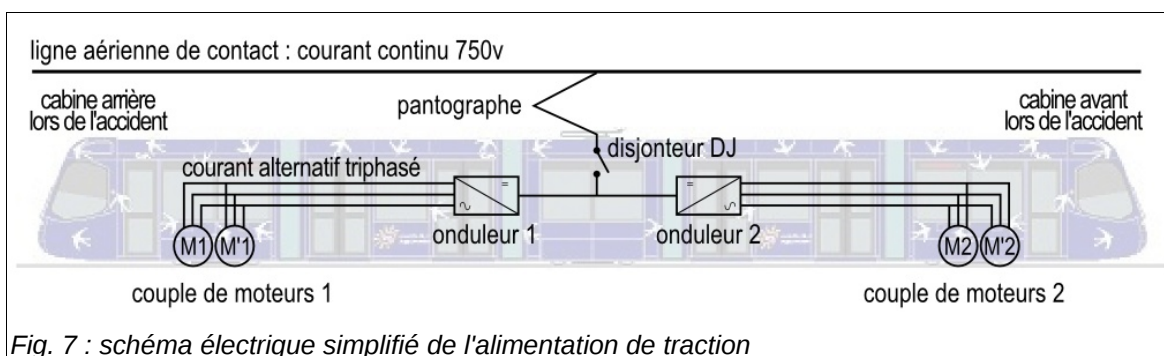
Les deux rames impliquées dans l'accident sont de type Citadis 302. Elles ont été mises en service commercial en mai 2007 pour la rame 2032 (**bleue**) et en décembre 2006 pour la rame 2053 (**orange**). Elles présentent une longueur de 32,5 m, une largeur de 2,65 m et une masse à vide de 39,8 t. Elles se composent de 5 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 56 places assises et de 154 places debout, sur la base d'une moyenne de 4 voyageurs par m².



Au 1^{er} janvier 2011, le matériel Citadis 302 constituait 245 des 787 rames équipant les réseaux de tramway sur fer français, soit 31% du parc français. L'annexe 5 du présent rapport donne quelques informations chiffrées sur la nature et les caractéristiques du parc de matériel roulant de ces réseaux de tramway.

2.2.1 - Le système d'alimentation et de motorisation

La rame Citadis 302 est alimentée en 750 volts continus par l'intermédiaire d'un pantographe la reliant à la ligne aérienne de contact (LAC). Ce courant continu est transformé en courant alternatif triphasé par deux onduleurs qui alimentent chacun un couple de moteurs asynchrones permettant la traction de la rame. Ces deux couples de moteurs sont situés sur les deux bogies d'extrémité. Un disjoncteur principal (DJ) situé entre le pantographe et les onduleurs permet de couper l'alimentation de ces moteurs.



2.2.2 - Les protections électriques des moteurs

Afin de préserver l'intégrité des moteurs, des protections ont été mises en place. En particulier :

- si les protections détectent plus de 20 fois de suite en moins de 150 ms une intensité supérieure à 1 300 ampères sur l'une des phases d'alimentation de l'un des couples de moteurs, elles inhibent temporairement l'onduleur correspondant pendant 0,5 s et mémorisent dans les enregistreurs un « défaut brosse » ou « brossage ».

Un tel « défaut brosse » ne traduit aucunement un patinage ou un blocage des essieux, mais un phénomène de sur-intensité électrique susceptible d'endommager les moteurs, et aucune alarme ne remonte au conducteur. Durant la demi-seconde d'inhibition de l'onduleur, le couple de moteurs correspondant n'est alors plus alimenté, et la traction de la rame n'est assurée que par le couple de moteurs de l'autre bogie.

- si ces protections détectent trois « défauts brosse » en moins d'une minute sur une même phase d'alimentation de l'un des couples de moteurs, elles déclenchent temporairement le disjoncteur principal, le temps d'isoler automatiquement le couple de moteurs correspondant. Une alarme visuelle et sonore se déclenche en cabine de conduite.

Des sur-intensités qui se répètent sur la durée sont en effet susceptibles d'endommager le couple de moteurs concerné et d'occasionner sa surchauffe. Pour protéger son intégrité, les protections l'isolent. Le déclenchement temporaire du disjoncteur dure environ 13 s, durant lesquelles tous les moteurs de la rame ne seront plus alimentés. Puis, après l'isolement du couple de moteurs à protéger, la traction de la rame n'est plus assurée que par le couple de moteurs de l'autre bogie. La remise en service du couple de moteurs isolé ne peut être effectuée qu'à vitesse nulle, sous certaines conditions.

2.2.3 - Le système de freinage

La rame Citadis 302 utilise trois dispositifs de freinage :

- le freinage mécanique, par le serrage de plaquettes de frein sur un disque. Il existe un dispositif par essieu sur les bogies moteurs et un par roue sur le bogie porteur, soit 8 au total sur l'ensemble de la rame ;
- le freinage électrique, par la création d'un couple résistant dans les moteurs en renvoyant en ligne ou dans des résistances sur le toit de la rame, l'électricité des moteurs fonctionnant alors en générateurs. Ce freinage est assuré par les deux couples de moteurs de traction et lorsque l'un de ces couples est isolé, les automatismes de la rame compensent par un freinage mécanique plus important ;
- le freinage électromagnétique, par l'application sur le rail de patins électromagnétiques solidaires de la rame. Il existe 2 patins par bogie, soit 6 sur l'ensemble de la rame.

Différentes commandes sont à la disposition du conducteur pour activer ces dispositifs :

- le manipulateur de traction/freinage dans sa plage de freinage normal de service (FNS) permet de moduler l'effort de freinage et agit sur les dispositifs de freinage mécanique et électrique. Il est couplé à un dispositif d'anti-enrayage/patinage et à un dispositif de sablage des rails. La valeur maximale de ce FNS est dénommée freinage maximal de service ou FMS ;
- le manipulateur de traction/freinage dans sa position de freinage d'urgence (FU) déclenche un freinage irréversible agissant sur les trois dispositifs de freinage mécanique, électrique et électromagnétique. Il est couplé aux dispositifs d'anti-enrayage/patinage et de sablage. Pour le conducteur, cette position extrême du manipulateur est nettement différenciable du freinage maximal de service par un cran spécifique en fin de course ;
- le bouton « coup de poing » déclenche de manière irréversible un freinage dit « de sécurité » (FS). Il agit sur les dispositifs de freinage mécanique et électromagnétique et est couplé au dispositif de sablage ;
- le bouton poussoir « patins magnétiques » déclenche, tant qu'il est maintenu appuyé, le dispositif de freinage électromagnétique. Aucune performance de décélération ou de temps de réponse n'est exigée en la matière par les normes ou les règles de l'art. Il n'a vocation à être utilisé par le conducteur qu'à l'arrêt, ou, le cas échéant, sur certains réseaux, à des vitesses faibles et dans des configurations bien particulières.



Fig. 8 : commandes de freinage à disposition du conducteur

Par ailleurs, des dispositifs techniques sont susceptibles de déclencher automatiquement un freinage d'urgence dans certaines situations. Il existe ainsi un dispositif usuellement dénommé « veille », que le conducteur doit actionner périodiquement. S'il oublie de l'actionner ou s'il l'actionne continûment, un freinage d'urgence est automatiquement déclenché, en considérant que le conducteur pourrait avoir fait un malaise.

Les performances de freinage spécifiées par l'AOT* lors de la commande de la rame 2032 impliquée dans l'accident, et celles vérifiées par le constructeur lors de sa livraison, sont conformes aux valeurs minimales prévues par la norme NF EN 13452 relative aux systèmes de freinage des transports publics urbains et suburbains de décembre 2003 et reprises dans le tableau ci-après :

Performances	FMS* par manipulateur	FU* par manipulateur	FS* par « coup de poing »	Freinage par bouton « patins magnétiques »	FU par dispositif de veille
Décélération équivalente « a_e » minimale	1,2 m/s ²	2,8 m/s ²	1 m/s ²	Pas d'exigence	1,2 m/s ²
Temps de réponse équivalent « t_e » maximal	1,5 s	0,85 s	2 s	Pas d'exigence	1,5 s

Fig. 9 : principales performances de freinage demandées par la la norme NF EN 13452

* Terme figurant dans le glossaire

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 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 ou entre ces déclarations et des constats ou analyses présentés par ailleurs.

3.1.1 - *Témoignage du conducteur de la rame 2032 (bleue) tamponneuse*

Le conducteur circulait sur la ligne 1 en direction du terminus « Odysseum ». Il venait de s'arrêter à la station de tramway « gare Saint-Roch » et remontait la rue Jules Ferry. Arrivé en haut de la rue, il s'est arrêté devant le feu ferroviaire (S13) au rouge pour laisser passer la rame venant de la ligne 2 (rame 2053 orange).

Le feu passant au vert, il a actionné le manipulateur de traction/freinage en position de traction, mais la rame n'a avancé que de quelques centimètres. Il n'a pas ressenti la rame réagir comme lors d'un patinage ; en particulier, il n'y a pas eu de « petites secousses ».

Il lui a fallu un temps pour comprendre que la rame commençait à reculer. Il a passé le manipulateur plusieurs fois de la position neutre à traction, sans effet.

Le conducteur a en outre indiqué que, la rame prenant de la vitesse en reculant, il a cédé à la panique, perdu ses moyens de réaction et n'a pas pensé à actionner un dispositif de freinage.

3.1.2 - *Témoignage du conducteur de la rame 2053 (orange) tamponnée*

Le conducteur circulait sur la ligne 2 en direction du terminus « Saint-Jean-de-Védas ». Il venait de croiser la rame 2032 (bleue) sur la voie adjacente, de descendre la rue Jules Ferry et de passer le feu ferroviaire (S23) en sortie du tronc commun, quand il a senti un choc à l'arrière de sa rame. Il a immédiatement déclenché un freinage d'urgence.

3.2 - Relevé de la position des rames après l'accident et des dégâts occasionnés

La position des rames après l'accident est représentée en figure 10. S'agissant de la rame 2032 (bleue), les traces relevées montrent que le bogie arrière a déraillé juste après le choc et s'est déporté d'une vingtaine de centimètres vers l'intérieur de la courbe. S'agissant de la rame 2053 (orange), les deux caisses arrière se sont mises en accordéon et le bogie arrière a également déraillé sous l'effet du choc.

Les éléments de carénage, de signalisation et les pare-brises des cabines arrière des deux rames sont détériorés. La traverse de tête de la rame 2053 (orange) est en outre partiellement désolidarisée. Les structures des caisses des deux rames n'ont cependant pas été endommagées.

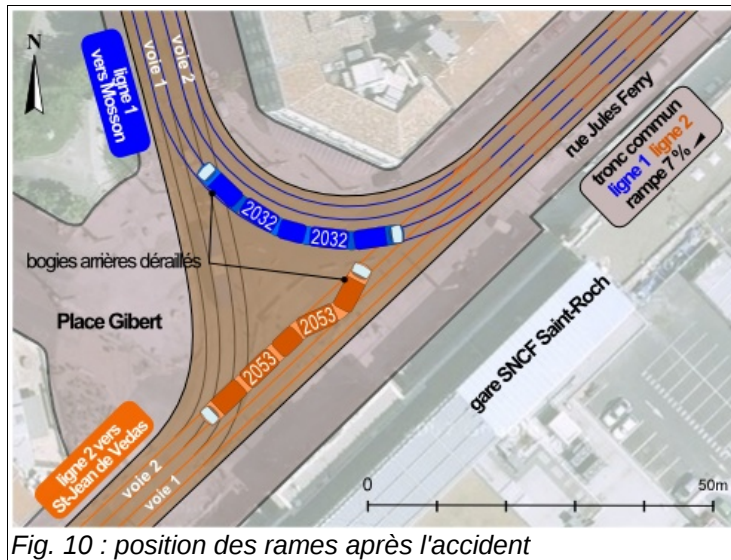


Fig. 10 : position des rames après l'accident



Fig. 11 : dégâts rame 2053



Fig. 12 : dégâts rame 2032

3.3 - Exploitation des enregistreurs de données

3.3.1 - Exploitation de la bande tachymétrique de la rame 2032 (bleue)

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

L'exploitation de cette bande tachymétrique depuis le début du service du conducteur de la rame 2032 montre une conduite respectueuse des limitations de vitesse, une durée des services en station satisfaisante et une utilisation rationnelle du gong.

Le graphique ci-après (figure 13) retrace l'évolution, en fonction du temps, de la vitesse de la rame considérée pendant la dernière minute qui a précédé le tamponnement. L'origine des temps ($t=0s$) correspond à l'instant où la rame 2032 a commencé à dériver. Pour illustrer cette dérive, des vitesses négatives ont été choisies.

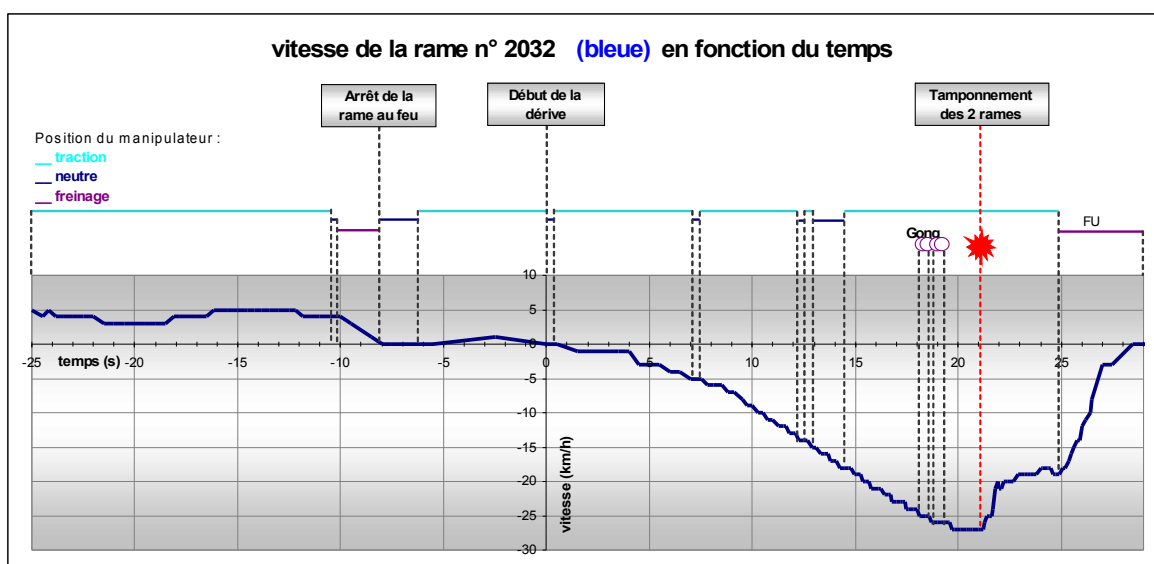


Fig. 13 : exploitation de la bande tachymétrique de la rame 2032

Ce graphique permet d'établir la chronologie suivante :

- la rame 2032 gravit la rampe à très faible vitesse (5 km/h) ;
- 8 s avant la dérive, la rame s'arrête devant le feu ferroviaire et le conducteur place le manipulateur au neutre pendant 2 s ;
- 6 s avant la dérive, le conducteur place son manipulateur en traction pendant 6 s, durant lesquelles la rame atteint 1 km/h puis s'arrête. Les données enregistrées ne permettent pas de distinguer le sens de déplacement de la rame et ce pic de vitesse de 1 km/h a été interprété comme une légère avancée, conformément aux dires du conducteur ;
- à peu près simultanément au début de la dérive, le conducteur ramène rapidement son manipulateur au neutre puis le replace en traction. Durant la dérive, il réitère cette action à trois reprises, respectivement à 7 s, 12 s, et 13 s. Il actionne plusieurs fois le gong entre 18 s et 19 s ;
- 21 s après le début de la dérive, l'arrière de la rame tamponne à 27 km/h l'arrière de la rame 2053 (orange) ;
- 4 s après le choc, soit 25 s après le début de la dérive, le freinage d'urgence entre en action ;
- la rame s'arrête 3,5 s plus tard.

L'exploitation de la bande permet également de constater que :

- La dérive dure 21 s avant le choc, durant lesquelles la rame parcourt 72 m et présente une accélération sensiblement constante de l'ordre de $0,4 \text{ m/s}^2$. Le conducteur ne déclenche pas de freinage, ni par le biais du manipulateur, ni par le biais du bouton « coup de poing » ou du bouton commandant les patins magnétiques ;
- le freinage d'urgence a été déclenché après le choc, par le dispositif de veille. La décélération est de l'ordre de $1,4 \text{ m/s}^2$, valeur conforme à la norme NF EN 13452 (cf. paragraphe 2.2.3).

3.3.2 - Exploitation de l'enregistreur « Agate » de la rame 2032 (bleue)

Les constructeurs introduisent des enregistreurs relevant certains paramètres techniques à des fins de maintenance et de connaissance du matériel. L'enregistreur dit « Agate » mémorise certains paramètres des équipements de traction-freinage (ETF) notamment les défauts « brosse », l'isolement des moteurs ainsi que la vitesse de la rame et la position du manipulateur au moment de ces défauts. Les données enregistrées en lien avec les événements sont les suivantes :

évènement	heure	Temps après le début de la dérive	Vitesse de la rame	Position du manipulateur (% de la course maxi)
Brosse moteur 2 phase 2	17h20'34"8	9,3 s	10 km/h	89% en traction
Brosse moteur 1 phase 1	17h20'35"1	9,6 s	10 km/h	80% en traction
Brosse moteur 2 phase 3	17h20'35"8	10,3 s	11 km/h	89% en traction
Brosse moteur 1 phase 2	17h20'36"0	10,5 s	12 km/h	89% en traction
Brosse moteur 2 phase 1	17h20'36"6	11,1 s	13 km/h	89% en traction
Brosse moteur 1 phase 1	17h20'36"9	11,4 s	14 km/h	88% en traction
Brosse moteur 2 phase 1	17h20'37"6	12,1 s	15 km/h	90% en traction
Brosse moteur 1 phase 1	17h20'37"7	12,2 s	16 km/h	90% en traction
Isolement moteur 1	17h20'37"7	12,2 s	16 km/h	90% en traction

Fig. 14 : exploitation de l'enregistreur « Agate » de la rame 2032

Les références « moteur 1 » et « moteur 2 » correspondent aux couples de moteurs respectivement placés à l'arrière et à l'avant de la rame, conformément au schéma 7.

Ce tableau permet de compléter la chronologie par les éléments suivants :

- 9,3 s après le début de la dérive, et pendant 3 s, huit défauts « brosse » sont enregistrés sur les deux couples de moteurs avant et arrière (pour mémoire, chaque défaut provoque l'interruption de l'alimentation électrique du couple de moteurs correspondant pendant 0,5 s). La rame avait alors une vitesse entre 10 et 16 km/h et lors de ces défauts, le conducteur avait son manipulateur en traction ;
- 12,2 s après le début de la dérive, une séquence d'isolement du couple de moteurs du bogie arrière (« moteur 1 ») a été automatiquement lancée après la détection des trois défauts « brosse » sur la phase 1 de leur alimentation électrique triphasée (pour mémoire, cette séquence débute par une alarme en cabine de conduite et occasionne une ouverture du disjoncteur principal entraînant la coupure de l'alimentation électrique de tous les moteurs de traction pendant environ 13 s – cf paragraphe 2.2.2). La rame 2032 avait alors une vitesse de 16 km/h.

3.3.3 - Exploitation de la bande tachymétrique de la rame 2053 (orange)

Les éléments en possession du BEA-TT permettent de reconstituer en figure 15 la vitesse de la rame 2053 (orange) sur les 25 dernières secondes avant le choc. Par souci de cohérence, les échelles de temps et de vitesse sont identiques à celles retenues pour constituer le graphique en figure 13.

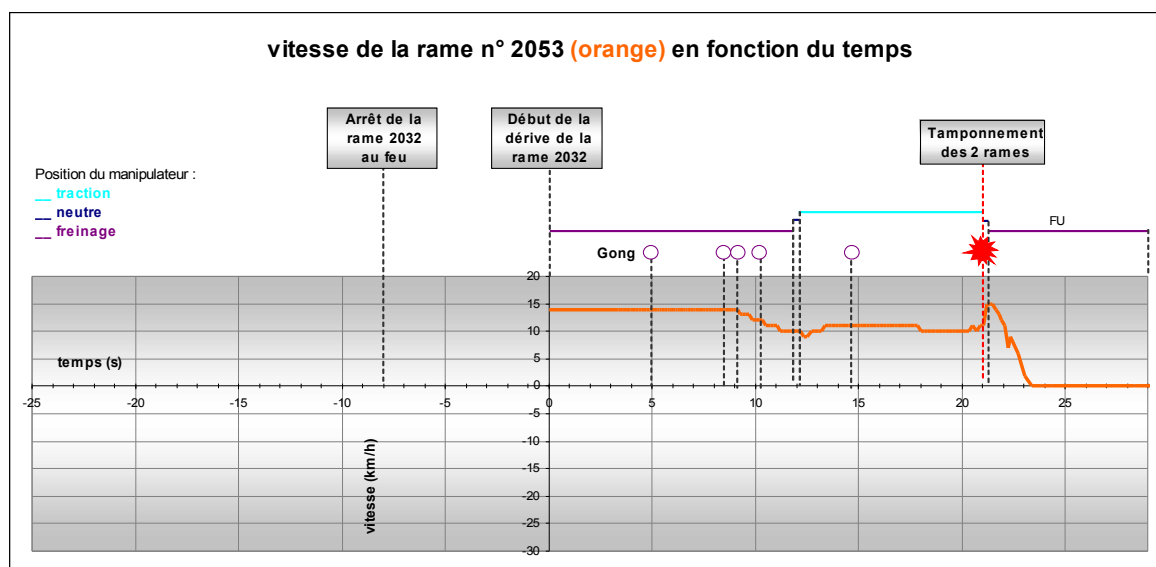


Fig. 15 : exploitation de la bande tachymétrique de la rame 2053

Le choc s'est produit alors que la rame avait une vitesse de 11 km/h. Il a occasionné une augmentation quasi-immédiate de la vitesse de 4 km/h. Le conducteur a déclenché rapidement le freinage d'urgence.

La décélération moyenne lors de ce freinage est de 2 m/s². Cette valeur est inférieure à la décélération de 2,8 m/s² fixée par la norme NF EN 13452 pour un freinage d'urgence déclenché par le manipulateur (cf. paragraphe 2.2.3). Ce constat s'explique vraisemblablement par le fait que, durant le premier mètre de freinage, la rame 2053 (orange) était encore poussée par la rame 2032 (bleue).

3.3.4 - Exploitation de la vidéo de la rame 2053 (orange)

Le réseau de Montpellier dispose de caméras enregistrant l'intérieur des rames. Celles de la rame 2032 (bleue) ne fonctionnaient pas le jour de l'accident. Celles de la rame 2053 (orange) montrent que les deux rames 2032 et 2053 ont commencé à se croiser (cabines de conduite avant en vis-à-vis) alors que la rame 2032 (bleue) était en train de grimper la rampe, environ 7 s avant qu'elle ne s'arrête au feu ferroviaire (soit 15 s avant qu'elle ne commence à dériver).

3.4 - Examen des documents d'exploitation et des équipements

3.4.1 - La qualification du conducteur de la rame 2032 (bleue)

Le conducteur de la rame 2032 (bleue) est titulaire du permis D depuis décembre 2007. Il a été embauché par la société TaM* en janvier 2009 en tant que conducteur de bus.

Il a été habilité à la conduite du tramway le 29 avril 2010, après un stage de 18 jours en avril. Entre son habilitation et l'accident, il a effectué 2 jours de conduite commerciale en binôme avec un conducteur expérimenté et 2 jours de conduite commerciale seul.

Le jour de l'accident était donc son troisième jour de conduite commerciale seul. Il était en service mixte et avait déjà assuré sa matinée de conduite de 7h03 à 11h54. Il effectuait son après-midi, après avoir pris sa rame à 16h30 au dépôt situé à proximité de la station « Hauts de Massane ».

3.4.2 - Le processus de recrutement

Le processus mis en place par la société TaM pour le recrutement de conducteurs vise à disposer de conducteurs de bus présentant des potentialités à la conduite de tramways. Les candidats retenus sont d'abord affectés à la conduite de bus, et l'éventuelle évolution vers la conduite de tramways relève d'une démarche volontaire de l'agent, qui ne peut se faire qu'après une période satisfaisante de conduite commerciale des bus.

Avant le recrutement effectif d'un conducteur, le processus mis en œuvre par la société TaM comprend les 4 étapes suivantes¹ :

- une présélection globale d'un groupe de candidats. Cette présélection s'effectue, d'une part, à travers des épreuves réalisées par la société TaM portant sur la connaissance de la ville, sur le niveau en français ainsi que sur celui en calcul, et, d'autre part, à travers des tests intellectuels réalisés par une société prestataire et ayant trait à la compréhension verbale, au raisonnement général, au raisonnement spatial, au raisonnement pratique et au raisonnement inductif ;
- une évaluation individuelle effectuée par cette société prestataire et portant sur les aptitudes psychomotrices, la personnalité, l'émotivité, la motivation, la représentation du poste et de ses exigences en matière de sécurité ;
- un entretien des candidats sélectionnés avec des représentants de la société TaM, orienté vers les aspects commerciaux, la motivation, la représentation du poste ;
- une mise en situation de conduite d'un bus par la société TaM.

Tout avis négatif à l'une ou l'autre des étapes entraîne une décision finale négative de la part de la société TaM. Après son recrutement et avant la conduite des

* Terme figurant dans le glossaire

1 La société TaM s'oriente actuellement vers un ordonnancement légèrement différent de ces étapes, faisant intervenir Pôle Emploi dans la présélection

bus en situation commerciale, l'agent suit une formation interne délivrée par la société TaM.

Cette dernière sélectionne ensuite, selon ses besoins, parmi les agents volontaires disposant d'une période satisfaisante de conduite commerciale des bus, ceux qu'elle formera puis habilitera, le cas échéant, à la conduite de tramways (cf. paragraphe 3.4.3 ci-après). Dans la pratique, les agents ainsi habilités à la conduite du tramway doivent alterner les deux activités de conduite, bus et tramways.

Dans son évaluation de l'agent qui conduisait la rame 2032 au moment de l'accident, la société prestataire n'a pas mis en évidence de point négatif. En particulier, elle a considéré qu'il possédait une gestion efficace du stress. Cette société estime difficile de présager, au cours d'une évaluation, des réactions dans une situation d'urgence.

3.4.3 - Le processus de formation et d'habilitation à la conduite de tramways

La formation initiale à la conduite des tramways dure 18 jours et est réalisée par des formateurs de la société TaM. Elle alterne la théorie et la conduite et elle aborde tous les aspects du métier du conducteur. Elle intègre un contrôle quotidien en début de chaque journée, un bilan hebdomadaire, ainsi qu'un examen théorique et un examen pratique les deux derniers jours.

Une commission d'habilitation composée du responsable de l'exploitation, du responsable formation et du responsable de ligne ou du responsable du PCC* examine les résultats des contrôles, bilans et examens et émet un avis sur la décision d'habilier ou non l'agent. En cas d'avis favorable, cette commission propose également le nombre de jours (habituellement compris entre 2 et 5) durant lesquels l'agent sera accompagné par un conducteur expérimenté avant qu'il ne conduise seul. L'habilitation est délivrée par la direction des ressources humaines de la société TaM et notifiée à l'agent par la direction générale.

L'habilitation permet de conduire sur la seule ligne sur laquelle l'agent a été formé. Elle est délivrée sans limitation de durée et peut être suspendue ou retirée par la société TaM pour non-respect des consignes, inaptitude médicale ou non-validité du permis de conduire D.

L'examen du programme de formation, de la fiche type d'appréciation et de suivi des séances théoriques et pratiques ainsi que de la fiche type d'évaluation pratique finale montre que la capacité de réaction des conducteurs aux situations complexes, d'urgence et de stress n'est pas explicitement évaluée.

Lors de la formation du conducteur de la rame 2032 impliqué dans l'accident, le temps total affecté à la conduite de la rame a été de 47 h pour l'ensemble du sous-groupe de quatre stagiaires auquel il appartenait, soit de l'ordre de 12 h par stagiaire. L'agent concerné a souligné, dans son évaluation de fin de stage, qu'il estimait cette durée courte.

La technique qui lui a été enseignée pour démarrer en rampe est de mettre le manipulateur dans une position de traction assez forte, puis, quand la rame commence à avancer, d'augmenter progressivement la traction. Si la rame patine,

* Terme figurant dans le glossaire

ce que le conducteur ressent par des vibrations et secousses, il doit diminuer la traction de manière à retrouver une adhérence suffisante.

Lors de la formation, l'agent avait effectué des démarrages dans la rampe de 6% située à proximité de la station « Hauts de Massane », qui se sont déroulés correctement. Il n'a jamais eu à effectuer un démarrage difficile ni à rattraper la dérive d'une rame.

3.4.4 - Le graissage et le nettoyage des rails

Un graissage des rails est nécessaire sur certaines portions de voie, notamment dans les courbes serrées. Les zones concernées sont mémorisées dans le système d'aide à l'exploitation du réseau et le graissage est automatiquement réalisé par les rames lorsqu'elles y circulent durant le service commercial : deux gicleurs installés de part et d'autre de chaque roue avant du bogie intermédiaire émettent alors de l'huile sur le boudin de la roue pendant 0,5 s toutes les 2 s. Cette action ne peut durer plus de 30 s et est inhibée lorsque la rame est à l'arrêt.

La section de voie située dans la rampe de la rue Jules Ferry est une zone de graissage sur une longueur de 50 mètres en amont de l'aiguillage AG5 de sortie du tronc commun. Cependant, bien que des rames des deux lignes y circulent, seules les rames de la ligne 1 (bleue) réalisent ce graissage.

Des opérations de nettoyage des rails sont, par ailleurs, effectuées par une entreprise prestataire deux fois par mois de début février à fin septembre, et une fois par mois le reste de l'année. Un nettoyage avait été réalisé la nuit précédant l'accident et le compte-rendu de cette opération fait ressortir un résultat satisfaisant du nettoyage de la surface de roulement et des gorges des rails.

Les vérifications menées par l'exploitant postérieurement à l'accident n'ont pas montré de trace de graisse sur la surface de roulement du rail, ni d'accumulation anormale dans sa gorge.

3.4.5 - Le fonctionnement de la zone de manœuvre

Les différents états de la signalisation ferroviaire et de la position des aiguillages selon la localisation des rames au cours de l'accident sont reproduits en annexe 2.

Aucun dysfonctionnement n'a été identifié par rapport au fonctionnement prévu lors de la conception.

3.4.6 - La maintenance de la rame 2032 et le fonctionnement de l'alimentation électrique

La rame 2032 (bleue) avait fait l'objet d'une visite périodique de maintenance le 11 mars 2010. Elle avait alors 72 138 km. L'examen du compte-rendu de cette maintenance ne montre pas d'anomalie.

L'alimentation électrique de traction était en service au moment de l'accident, et tant les enregistreurs du dispositif de supervision de l'énergie électrique de traction du réseau que ceux de la sous-station électrique de la ligne 2 n'ont pas identifié d'anomalie.

3.5 - Réalisation d'essais

Des essais ont été effectués durant la nuit du 8 au 9 juillet 2010, avec la rame 2032 (bleue) impliquée dans l'accident, sur la rampe présentant une pente de 6% située à proximité de la station « Hauts de Massane », sensiblement similaire à celle où a eu lieu l'accident. La synthèse de ces essais figure en annexe 3.

3.5.1 - Les essais relatifs aux stratégies de démarrage

Ces essais visaient à déterminer les effets sur le déplacement de la rame d'un positionnement plus ou moins important ou rapide du manipulateur dans sa plage de traction, dans différentes conditions initiales (rails secs ou humides, rame à l'arrêt ou déjà en dérive). Il en ressort qu'en forte rampe :

- il existe une plage de positionnement en traction du manipulateur qui permet le démarrage de la rame. En dessous de cette plage, la rame dérive sans « brouter ». Le « broutage » se ressent par des vibrations dans la cabine de conduite et des secousses dans le siège du conducteur. Il traduit un manque d'adhérence entre les roues et le rail au démarrage ;
- cette plage varie en fonction des conditions d'adhérence du rail. Sur un rail sec, la position maximale de traction permet le démarrage de la rame. Sur un rail humide, si le conducteur déplace trop son manipulateur en traction, la rame peut « brouter », voire dériver légèrement ;
- une fois la dérive de la rame amorcée, l'actionnement du manipulateur en position de traction maximale ne permet pas de remédier à cette situation. Le retour progressif du manipulateur à la plage mentionnée ci-avant permet éventuellement, dans certains cas et à très faible vitesse (3 km/h), de rattraper cette dérive.

3.5.2 - Les essais relatifs aux défauts « brosse » et à l'isolement des moteurs

Ces essais avaient pour objectif de reproduire les défauts « brosse » et l'isolement des moteurs survenus lors de l'accident afin d'apprécier les conditions dans lesquelles ils apparaissent. Il ressort de ces essais qu'en forte rampe :

- la rame qui dérive avec un positionnement inadéquat du manipulateur dans la plage de traction génère des défauts « brosse ». Ces défauts apparaissent vers 7-11 km/h quelles que soient les réactions du conducteur sur le manipulateur (traction/neutre), y compris lorsque le conducteur maintient son manipulateur dans la même position de traction maximale. Ils ne sont pas remontés sous forme d'alarme et n'ont pas d'effets perceptibles par le conducteur sur la dynamique de la rame. Ils ne traduisent pas un patinage ou un blocage des essieux, ni un « broutage » de la rame ;
- avec la rame en dérive, les défauts « brosse » déclenchent, vers 10-15 km/h, un cycle d'isolement du couple de moteurs concerné. Pour cela, le disjoncteur principal s'ouvre pendant 13 secondes en moyenne, pendant lesquelles la rame ne dispose plus de moyens de traction, puis ce disjoncteur se referme.

3.5.3 - Les essais relatifs aux démarrages en mode dégradé

Ces essais avaient pour objectif de vérifier la capacité de la rame à démarrer dans la rampe à 6% dans différentes configurations dégradées de motorisation : isolement d'un couple de moteurs, avec ou sans dispositif de sur-régime.

Il en ressort que, sur rail sec, malgré un couple de moteurs isolé, la rame peut démarrer dans une rampe à 6%.

3.5.4 - Les essais relatifs aux capacités de freinage de la rame en dérive

Le but de ces essais était de vérifier que chacun des différents systèmes de freinage dont le conducteur dispose, permet d'arrêter la rame partie en dérive sur une forte rampe.

Il en ressort que, sur rail sec, chacune des différentes commandes de freinage à disposition du conducteur (manipulateur déclenchant un freinage normal de service, manipulateur déclenchant un freinage d'urgence, coup de poing déclenchant un freinage de sécurité, bouton poussoir déclenchant les patins magnétiques) permet d'arrêter la rame en dérive sur une rampe de 6% ayant atteint une vitesse de 17-25 km/h.

3.6 - Les accidents comparables

Le BEA-TT n'a pas connaissance de précédents accidents de dérive d'une rame de tramway ayant des causes similaires.

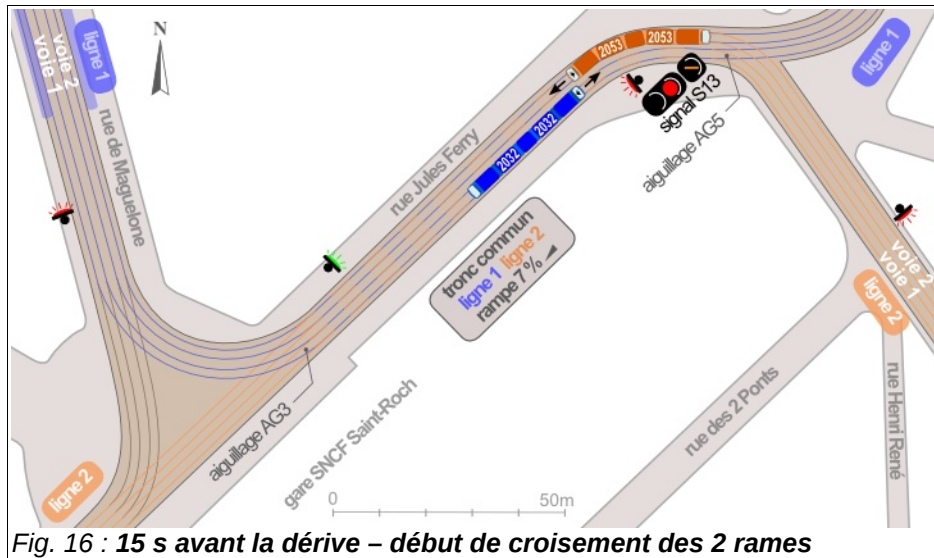


Fig. 16 : 15 s avant la dérive – début de croisement des 2 rames

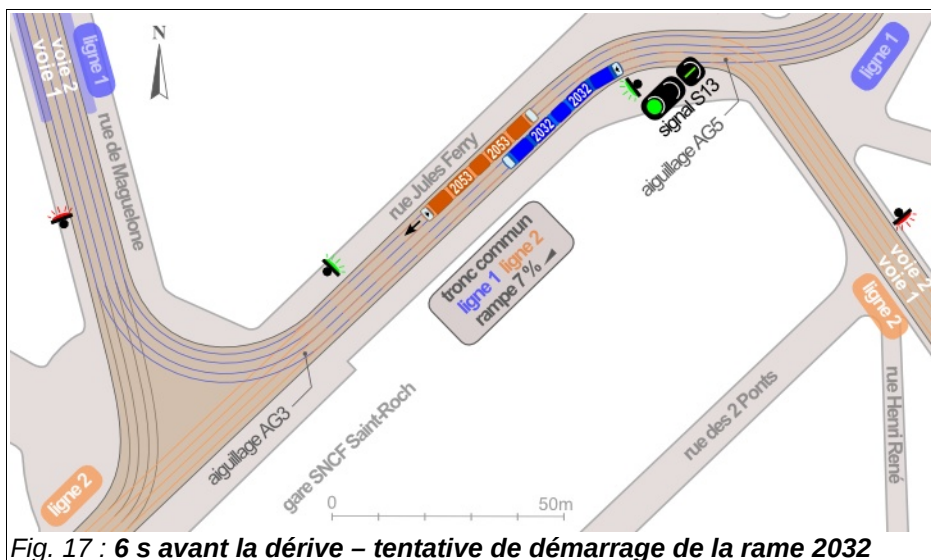


Fig. 17 : 6 s avant la dérive – tentative de démarrage de la rame 2032

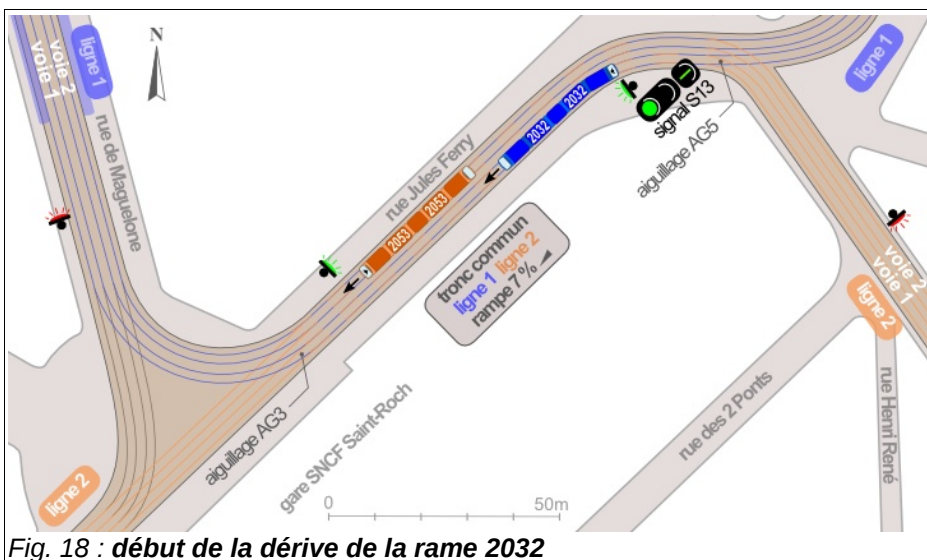


Fig. 18 : début de la dérive de la rame 2032

4 - Déroulement de l'accident et des secours

4.1 - La situation avant l'accident

Le ciel était légèrement voilé dans l'après-midi de l'accident et la pluie, tombée en tout début de matinée, avait cessé. Les rails étaient secs.

Le conducteur de la rame 2032 (bleue) a pris son service à 16h30. Il était dans les horaires prévus.

La rame 2032 (bleue) transportait au moment de l'accident environ 200 voyageurs. La rame 2053 (orange) en transportait 43.

4.2 - Le déroulement de l'accident

L'accident a eu lieu à 17h20 selon la chronologie reconstituée suivante² :

- sur la voie 1 du tronc commun de la rue Jules Ferry, le conducteur de la rame 2032 (bleue) grimpe la rampe à vitesse faible (5 km/h). Le signal ferroviaire S13 en haut de la rampe est au rouge pour permettre à la rame 2053 (orange) sur la voie 2 de la ligne 2 d'entrer sur le tronc commun ;
- 15 s avant la dérive (fig. 16), les deux rames commencent à se croiser. La rame 2032 (bleue) est alors à 11 m du signal ferroviaire S13 toujours au rouge, à une vitesse de 5 km/h et le conducteur a son manipulateur en traction ;
- 8 s avant la dérive, la rame 2032 (bleue) s'arrête devant le signal ferroviaire S13 rouge. Elle y reste 2 s, le manipulateur placé au neutre ;
- 6 s avant la dérive (fig. 17), le signal ferroviaire S13 passant au vert, le conducteur tente de repartir. Il place son manipulateur en traction pendant 6 s, durant lesquelles la rame avance très légèrement (moins d'un mètre à moins de 1 km/h). Le manipulateur n'a vraisemblablement pas été placé dans une position de traction très forte, car soit la rame aurait démarré, les rails étant secs, soit elle aurait « brouté », ce que le conducteur n'a pas ressenti. Les deux rames achèvent de se croiser ;
- la rame 2032 (bleue) commence à partir en dérive (fig. 18), le conducteur ramène son manipulateur au neutre puis le replace rapidement en traction.

La dérive de la rame 2032 (bleue) dure 21 s jusqu'au tamponnement, durant lesquelles elle parcourt 72 m. Pendant ces 21 s :

- le conducteur a la majorité du temps son manipulateur en position de traction. A trois reprises, 7 s, 12 s et 13 s après le début de la dérive, il le ramène au neutre puis le replace rapidement en traction. La rame a alors parcouru respectivement 4 m, 18 m et 20 m, et est à 5 km/h, 14 km/h et 15 km/h ;
- huit défauts « brosse » sont enregistrés sur les deux couples de moteurs de traction, entre 9,3 et 12,2 s après le début de la dérive. Ils ne déclenchent pas d'alarme dans la cabine de conduite mais inhibent chaque fois l'onduleur correspondant (onduleur 1 ou onduleur 2 selon le cas) pendant 0,5 s durant lesquelles le couple de moteurs concerné n'est plus alimenté ;

2 L'annexe 2 détaille les éléments de chronologie issus des différents dispositifs d'enregistrement.

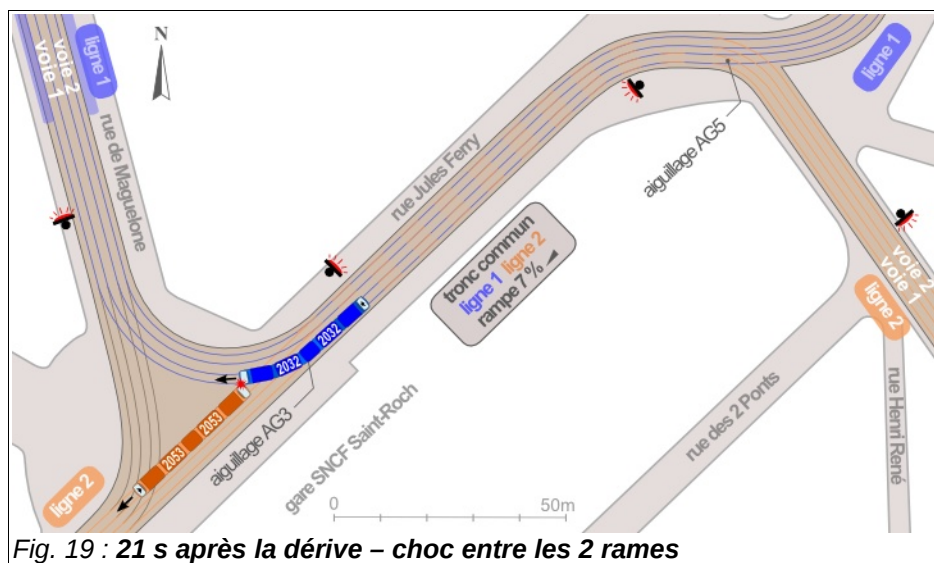


Fig. 19 : 21 s après la dérive – choc entre les 2 rames

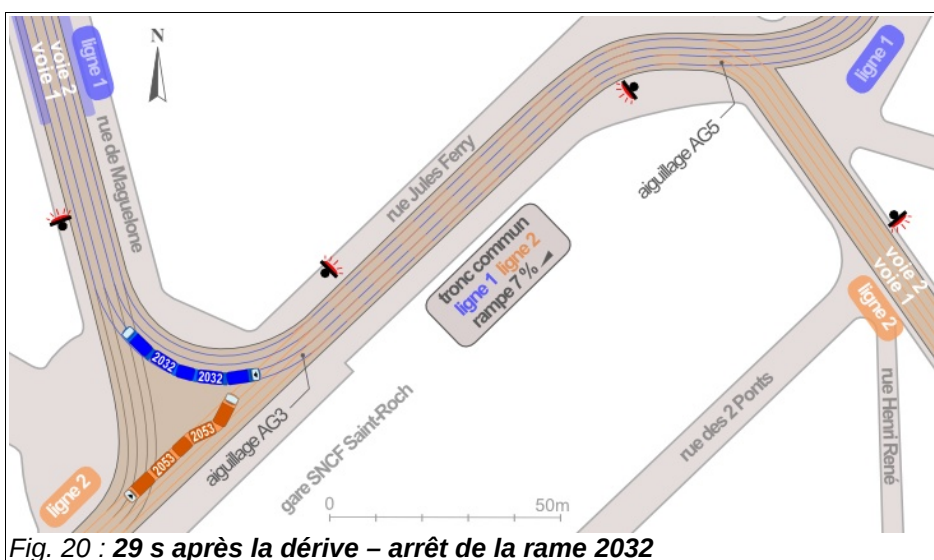


Fig. 20 : 29 s après la dérive – arrêt de la rame 2032

- 12,2 s après le début de dérive, compte tenu de 3 défauts « brosse » survenus sur la même phase d'alimentation du couple de moteurs arrière de la rame, les automatismes de protection entament le cycle destiné à isoler ce couple de moteurs. Pour cela, le disjoncteur principal se déclenche, coupant l'alimentation de tous les moteurs de la rame pendant 13 s. Une alarme sonore et visuelle apparaît alors dans la cabine de conduite ;
- entre 18 et 19 s après le début de la dérive, le conducteur actionne le gong à plusieurs reprises ;
- environ 20 s après le début de la dérive, la rame 2032 (bleue) repasse, en sens inverse, sur l'aiguillage AG3 de sa voie, situé à l'entrée du tronc commun. Cet aiguillage n'a pas changé de position. Il oriente donc la rame vers la direction d'où elle est venue, c'est-à-dire coupant la voie 2. La rame a alors une vitesse de l'ordre de 25 à 27 km/h.

Sur la voie 2, la rame 2053 (orange) achève de sortir du tronc commun et sa cabine de conduite arrière est au niveau de l'intersection de la voie 1 de la ligne 1.

- 21 s après la dérive (fig. 19), le choc se produit au niveau des deux cabines arrière. La rame 2032 (bleue) a alors une vitesse de 27 km/h et la rame 2053 (orange) une vitesse de 11 km/h. La vitesse relative des deux rames est donc de l'ordre de 16 km/h (approximation qui ne tient pas compte de leurs trajectoires légèrement différentes) ;
- le choc fait diminuer la vitesse de la rame 2032 (bleue) de 7 km/h et dérailler son bogie arrière. Il fait augmenter la vitesse de la rame 2053 (orange) de 4 km/h et en fait dérailler le bogie arrière ;
- le conducteur de la rame 2053 (orange) actionne quasi-immédiatement le freinage d'urgence. Sa rame s'arrête sur 4,5 m en un peu plus de 2 s. Les deux caisses arrière se mettent légèrement « en portefeuille » ;
- le conducteur de la rame 2032 (bleue) n'actionne aucune commande de frein. N'ayant également plus actionné son dispositif de veille au cours des dernières secondes, les automatismes déclenchent un freinage d'urgence 4 s après le choc, qui arrête la rame 27 m après le point d'impact (fig. 20).

4.3 - Les actions post-accident

Le conducteur de la rame 2032 (bleue) a appelé le PCC, qui a alerté les pompiers et la police. A leur arrivée, les pompiers ont recensé deux blessés légers, dont un a été transporté au service des urgences de l'hôpital Lapeyronie.

En matière d'exploitation, de 17h50 à 18h25, la voie 1 du tronc commun est utilisée en voie unique pour permettre à quatre rames à proximité immédiate de continuer leur course.

La rame 2032 (bleue) a été remise sur les rails puis conduite au dépôt à 18h15, permettant la reprise de l'exploitation de la ligne 1 à 18h39. La rame 2053 (orange) a été remise sur les rails puis conduite au dépôt à 20h15, permettant la reprise de l'exploitation de la ligne 2. La circulation automobile a été ré-autorisée à 22h.

5 - Analyse des causes et facteurs associés, orientations préventives

5.1 - L'arbre des causes

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

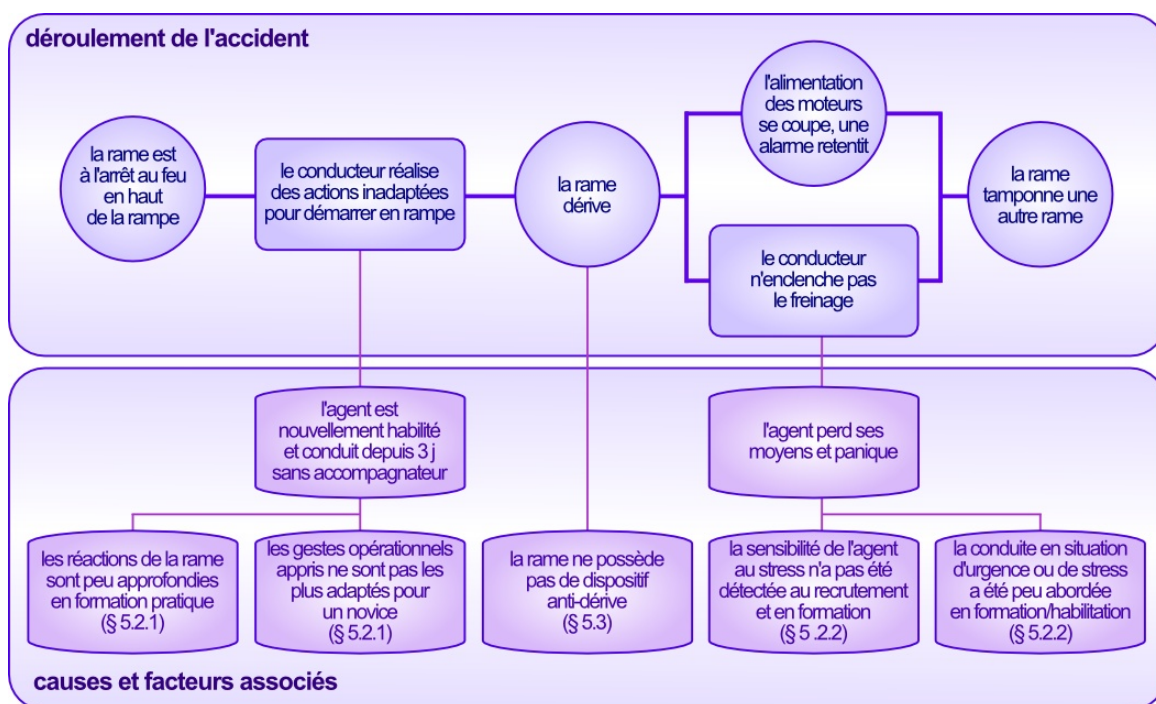


Fig. 21 : déroulement de l'accident, causes et facteurs associés

La cause directe du tamponnement est la dérive de la rame 2032 (bleue). Cette dérive s'est produite car le conducteur, nouvellement formé, n'a pas adopté une stratégie adéquate de démarrage en rampe. Elle n'a, de plus, pas été stoppée parce que la rame concernée ne disposait pas de système d'anti-dérive et que le conducteur, ayant perdu ses moyens, n'a pas enclenché de freinage.

Les orientations préventives sont donc recherchées dans les domaines suivants :

- la formation des conducteurs aux gestes opérationnels pour démarrer en rampe et à la gestion des situations complexes, d'urgence et de stress ;
- les dispositifs techniques d'anti-dérive des rames.

5.2 - La formation des conducteurs de tramway

5.2.1 - La formation aux démarrages en forte rampe

Les gestes opérationnels appris par le conducteur pour démarrer en forte rampe sont de placer le manipulateur dans la zone adéquate de traction pour faire démarrer la rame, puis de donner progressivement plus de puissance.

Les essais mentionnés au paragraphe 3.5 montrent cependant qu'une telle manœuvre peut parfois être délicate, la plage appropriée de positionnement du manipulateur variant en fonction des conditions d'adhérence du rail et de la charge de la rame.

Par ailleurs, la réaction instinctive de placer le manipulateur au maximum de traction en réponse à une tentative infructueuse de départ ou à un début de dérive ne permet pas toujours de remédier à cette dérive.

Certains exploitants recommandent ainsi à leurs conducteurs d'utiliser les patins magnétiques pendant qu'ils mettent leur manipulateur en position de traction adéquate et de relâcher ces patins quand ils sentent que la rame possède suffisamment de traction. De tels gestes sont vraisemblablement plus adaptés pour les conducteurs novices qui n'appréhendent pas encore nécessairement toute la gamme de réactions du matériel roulant dans les différentes conditions d'environnement ou de charge.

Pour mieux maîtriser les gestes opérationnels à effectuer et mieux apprécier les réactions du matériel roulant, la pratique de la conduite demeure un mode de formation essentiel.

De l'entretien que les enquêteurs ont pu avoir avec le conducteur, celui-ci avait effectué plusieurs démarrages dans la rampe à 6% située à proximité de la station « Hauts de Massane » lors de sa formation. Il a réussi à chaque fois ces démarrages. Il n'a donc pas été confronté au rattrapage d'un démarrage difficile ou d'une dérive.

Aussi la pratique de la conduite ne doit pas uniquement se limiter à l'apprentissage des bons gestes opérationnels. Elle doit également porter sur la compréhension de ce qui pourrait se passer lorsque ces bons gestes ne sont pas correctement réalisés et sur le rattrapage des situations qui peuvent en résulter.

Par ailleurs, si la formation aborde bien les phénomènes de perte d'adhérence et de « broutage » de la rame, en revanche, les cas de dérive sans perte d'adhérence, les réactions associées de la rame et le rôle et les effets des protections des moteurs contre les sur-intensités semblent être moins développés.

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

Recommandation R1 (société TaM) :

Ré-examiner les gestes opérationnels à enseigner pour démarrer une rame en forte rampe et former par la pratique les futurs et les récents conducteurs à ces gestes ainsi qu'à la maîtrise des situations possibles en fonction des réactions de la rame, et notamment au rattrapage d'une rame partant en dérive.

5.2.2 - Les situations complexes, d'urgence et de stress

Il s'est écoulé 21 secondes entre le début de la dérive et la collision. Le conducteur mentionne avoir cédé à la panique, perdu ses moyens de réaction et n'avoir pas pensé à actionner un dispositif de freinage.

L'examen des enregistreurs (cf. paragraphe 3.3.1) montre cependant que cette perte de moyen et cette panique n'ont pas été immédiates. Le conducteur a en effet réagi d'une part, en déplaçant le manipulateur entre les positions de traction et de neutre, vraisemblablement pour tenter de redonner une puissance suffisante aux moteurs face au constat de leur inefficacité et d'autre part, en actionnant le gong pour alerter les tiers susceptibles d'être heurtés. Il n'a, en revanche, actionné aucun des quatre moyens de freinage à sa disposition, tant avant qu'après la collision.

Il est très probable que les événements aient été vécus par le conducteur de la façon suivante : une incompréhension des réactions de la rame lors de ses tentatives de démarrage, puis une perte de repères face à l'inefficacité de ses actions sur le manipulateur lors de la dérive, un stress croissant généré par la crainte de heurter des tiers et, enfin, une absence de réaction.

Cette attitude a pu être amplifiée par la difficulté du conducteur à mobiliser ses connaissances sur les différents comportements possibles du matériel roulant lors d'un démarrage en rampe, peu approfondis lors de sa formation (cf. paragraphe 5.2.1) et par l'absence de pratique de conduite en situation complexe, d'urgence et de stress.

Recommandation R2 (société TaM) :

Évaluer les capacités de réaction des agents aux situations complexes, d'urgence et de stress avant de les habiliter à conduire des tramways et les former aux bonnes réactions lors de telles situations.

Recommandation R3 (STRMTG) :

Vérifier que les règlements de sécurité de l'exploitation (RSE) des exploitants de tramway, ou les consignes opérationnelles les déclinant, prévoient une évaluation des capacités de réaction des conducteurs aux situations complexes, d'urgence et de stress et une formation à ces situations avant de les habiliter.

5.2.3 - La durée de la formation initiale

Le décret n° 2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés prévoit que « *le personnel d'exploitation affecté à une tâche de sécurité, en particulier les conducteurs, reçoit une formation adéquate et une habilitation fixées par le règlement de sécurité de l'exploitation* » (RSE). Ce RSE est rédigé par l'exploitant et approuvé par le préfet du département dans lequel le système de transport est implanté. Il appartient donc à chaque exploitant de définir le programme et la durée de la formation qu'il dispense à ses personnels.

La formation initiale délivrée par la société TaM à ses futurs conducteurs de tramway dure 18 jours³, représentant 123 heures, dont 47 heures consacrées à la conduite sans voyageurs (pour un groupe de 4 stagiaires, soit 12 heures par stagiaire). Le conducteur de la rame 2032 impliquée dans l'accident a été accompagné par un tuteur lors de ses 2 premiers jours de conduite commerciale avec voyageurs.

Afin de situer ces durées par rapport à celles pratiquées par d'autres réseaux, le BEA-TT a réalisé un état des lieux de la formation initiale des conducteurs à partir d'un questionnaire adressé aux 18 exploitants de tramway⁴. Cet état des lieux est détaillé en annexe 4.

Tous ces exploitants ont fait le choix de réaliser en interne la formation initiale de leurs conducteurs : en moyenne, la durée du stage est de 18 jours, dont 50% consacré à la pratique.

Au-delà de la durée du stage, le BEA-TT s'est placé du point de vue du nouveau conducteur et a examiné le temps durant lequel il bénéficie d'une formation théorique et le temps durant lequel il conduit effectivement une rame en présence d'un formateur ou d'un tuteur avant qu'il soit considéré comme autonome :

- le temps moyen de formation théorique et de conduite effective est de 102 heures. Il est représenté en figure 22, et peut varier de 54 à 179 heures (rapport de 1 à 3) selon l'exploitant ;
- le temps moyen de conduite effective en présence d'un formateur ou d'un tuteur avant que le conducteur soit considéré comme autonome est de 39 heures. Il est représenté en figure 23. Il peut varier de 14 à 91 heures (rapport de 1 à 7) selon l'exploitant.

3 En intégrant les 2 jours consacrés à l'examen théorique, à l'épreuve pratique et à l'entretien individuel.

4 Compte tenu de leur spécificité, les réseaux de TVR et les tram-trains n'ont pas été pris en compte.

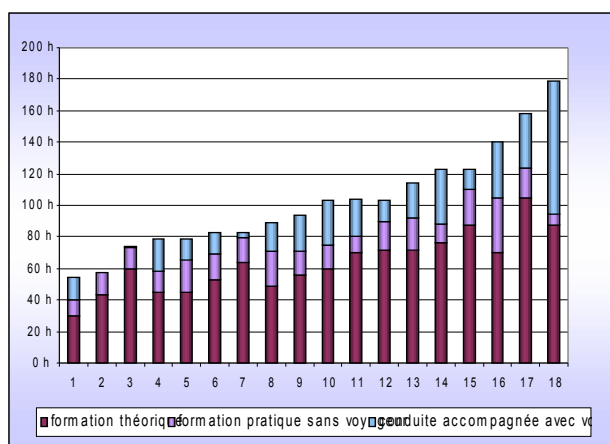


Fig. 22 : temps cumulé de formation et de conduite effective par stagiaire

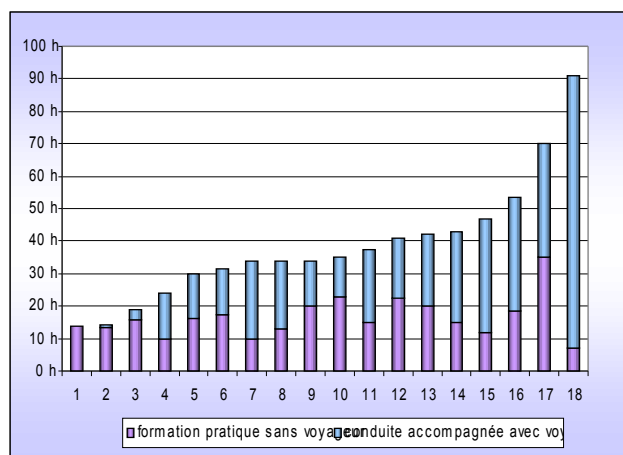


Fig. 23 : temps de conduite effective par stagiaire

Si la durée totale de formation théorique et de conduite de l'agent de la société TaM impliqué dans l'accident se situe dans la moyenne nationale, le temps de conduite effectif d'un tramway qu'il a effectué avant d'avoir été considéré comme autonome est, en revanche, de 31% inférieur à la moyenne correspondante.

Il existe, de fait, de fortes disparités d'un exploitant à l'autre, en particulier concernant le temps de conduite effective, que la spécificité des lignes ou des matériels n'explique que partiellement.

L'union des transports publics et ferroviaires (UTP) se questionne régulièrement sur l'opportunité de créer un certificat de qualification professionnelle (CQP) de conducteurs de tramway. Un CQP est une reconnaissance de la qualification professionnelle créée et délivrée au sein d'une branche professionnelle.

Le BEA-TT encourage l'UTP dans toute démarche susceptible d'homogénéiser, pour plus de sécurité, la durée et le contenu de la formation initiale des conducteurs de tramway d'un réseau à l'autre. Il invite le STRMTG à apporter son expertise technique à une telle homogénéisation.*

5.3 - Les dispositifs techniques d'anti-dérive des rames

Les rames de tramway des lignes 1 et 2 de Montpellier ne disposent pas d'un dispositif technique stoppant automatiquement toute dérive dès qu'un début de recul est détecté. La présence d'un tel dispositif aurait cependant permis d'éviter l'accident.

Le tableau de l'annexe 5 montre que ce dispositif n'est pas fréquent sur les matériels existants, mais qu'il tend à se généraliser rapidement sur les prochains matériels. En particulier, les rames de la future ligne 3 de Montpellier, qui emprunteront le tronc commun de la rue Jules Ferry, en disposeront.

* Terme figurant dans le glossaire

Recommandation R4 (STRMTG) :

S'assurer, lors de la mise en service des lignes de tramway sur fer présentant de forte rampe, que le matériel roulant devant y circuler dispose d'un dispositif d'anti-dérive.

6 - Conclusions et recommandations

6.1 - Causes de l'accident

La cause directe du tamponnement entre les rames 2032 et 2053 est la dérive de la rame 2032.

Cette dérive s'est produite car le conducteur, nouvellement formé, n'a pas adopté une stratégie adéquate de démarrage en rampe. Elle n'a, de plus, pas été stoppée parce que le conducteur, ayant perdu ses moyens, n'a pas enclenché de freinage.

6.2 - Recommandations

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

Recommandation R1 (société TaM) :

Ré-examiner les gestes opérationnels à enseigner pour démarrer une rame en forte rampe et former par la pratique les futurs et les récents conducteurs à ces gestes ainsi qu'à la maîtrise des situations possibles en fonction des réactions de la rame, et notamment au rattrapage d'une rame partant en dérive.

Recommandation R2 (société TaM) :

Évaluer les capacités de réaction des agents aux situations complexes, d'urgence et de stress avant de les habilitier à conduire des tramways et les former aux bonnes réactions lors de telles situations.

Recommandation R3 (STRMTG) :

Vérifier que les règlements de sécurité de l'exploitation (RSE) des exploitants de tramway, ou les consignes opérationnelles les déclinant, prévoient une évaluation des capacités de réaction des conducteurs aux situations complexes, d'urgence et de stress et une formation à ces situations avant de les habilitier.

Recommandation R4 (STRMTG) :

S'assurer, lors de la mise en service des lignes de tramway sur fer présentant de forte rampe, que le matériel roulant devant y circuler dispose d'un dispositif d'anti-dérive.

Par ailleurs, le BEA-TT encourage l'UTP dans toute démarche susceptible d'homogénéiser, pour plus de sécurité, la durée et le contenu de la formation initiale des conducteurs de tramway d'un réseau à l'autre. Il invite également le STRMTG à apporter son expertise technique à une telle homogénéisation.*

* Terme figurant dans le glossaire

ANNEXES

Annexe 1 : Décision d'ouverture d'enquête

Annexe 2 : Chronologie reconstituée des événements survenus à la rame 2032
(bleue)

Annexe 3 : Synthèse des essais réalisés sur la rampe à 6% à proximité de la station « Hauts de Massane » du tramway de Montpellier, durant la nuit du 8 au 9 juillet 2010

Annexe 4 : État des lieux des durées de formation initiale des conducteurs de tramway

Annexe 5 : Données sur le parc de matériel roulant des réseaux de tramway sur fer français

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 19 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 12 mai 2010 de deux rames de tramway sur la commune de Montpellier (Hérault), 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 12 mai 2010 de deux rames de tramway sur la commune de Montpellier (Hérault).

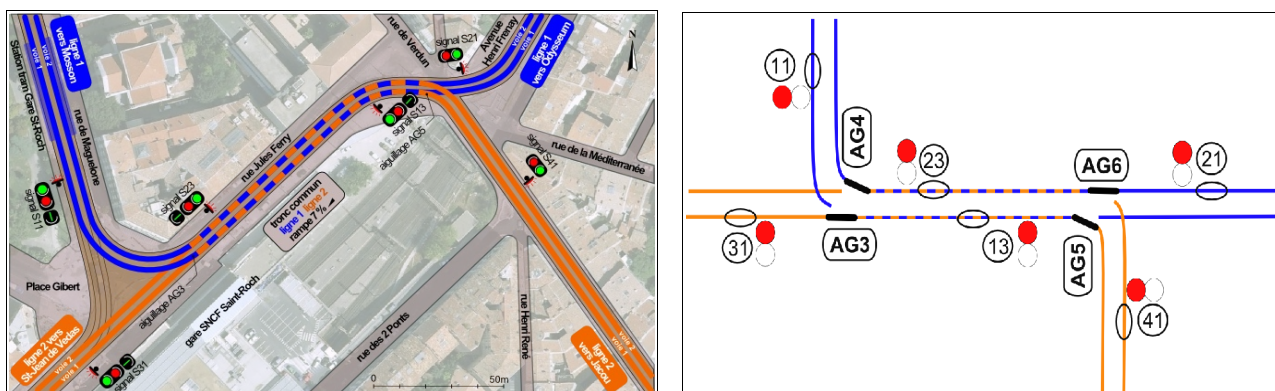
Le directeur du BEA-TT

Jean-Gérard KOENIG

Annexe 2 : Reconstitution et chronologie

2.1- Reconstitution du fonctionnement de la zone de manœuvre au cours de l'accident

Pour reproduire les différents états de la signalisation ferroviaire et de la position des aiguillages selon le positionnement des rames au cours de l'accident, le tronc commun de la rue Jules Ferry est schématisé ainsi qu'il suit :



 OU 	 13 OU  13	 13	 OU 
Aiguillage voie directe / voie déviée	feu ferroviaire au rouge / au vert	Boucle de télécommande	Rames 2032 bleue / 2053 orange

Représentation du tronc commun et état de sa signalisation et des aiguillages avant l'accident

Par souci de simplification, la portion de voie de la place Gibert permettant de relier directement la ligne 1 à la ligne 2 dans certaines conditions particulières d'exploitation n'a pas été schématisée. De même, les CdV*, permettant une localisation sûre des rames, n'ont pas été représentés.

Avant l'accident, et en l'absence de tramways sur la zone, tous les feux ferroviaires sont au rouge. Compte tenu des itinéraires des rames précédentes, les aiguillages sont dans les positions suivantes : AG3 et AG6 en position « voie directe », AG4 et AG5 en position « voie déviée ».

Le dossier de conception de la zone permet de reproduire la chronologie ci-après :

* Terme figurant dans le glossaire

1		Sur la voie 1 de la ligne 1, la rame 2032 (bleue) passe sur la boucle de détection 11. Cela commande le déplacement de l'aiguillage AG3 en position « voie déviée », puis le passage du signal ferroviaire 11 au vert, autorisant la rame à entrer sur le tronc commun.
2		Sur la voie 2 de la ligne 2, la rame 2053 (orange) passe sur la boucle de détection 41. Cela commande le déplacement de l'aiguillage AG6 en position « voie déviée », puis le passage du signal ferroviaire 41 au vert, autorisant la rame à entrer sur le tronc commun. L'aiguillage AG5 étant déjà en position « voie déviée » ne bouge pas.
3		Sur la voie 1 du tronc commun, la rame 2032 (bleue) passe sur la boucle de détection 13. Cela ne modifie ni la position des aiguillages AG5 ni le signal ferroviaire 13 toujours au rouge, car la rame 2053 (orange) n'est pas encore en totalité sur le tronc commun. La commande est cependant enregistrée.
4		Sur la voie 2 du tronc commun, l'aiguillage AG4 se déplace en position « voie directe », puis le signal ferroviaire 23 passe au vert, autorisant la rame 2053 (orange) à sortir du tronc commun. Ces commandes sont automatiquement réalisées car les 2 conditions suivantes sont remplies : la rame 2053 (orange) est engagée sur le tronc commun et la rame 2032 (bleue) est en totalité sur le tronc commun.
5		Sur la voie 2 du tronc commun, la rame 2053 (orange) est en totalité sur le tronc commun. Sur la voie 1, la demande de la rame 2032 (bleue) pour sortir du tronc commun, enregistrée à l'étape 3, se met alors en œuvre : l'aiguillage AG5 se déplace en position « voie directe », puis le signal ferroviaire 13 passe au vert.
6		Sur la voie 1 du tronc commun, la rame 2032 (bleue) dérive. Elle passe sur l'aiguillage AG3, qui est toujours en position « voie déviée », et tamponne l'arrière de la rame 2053 (orange) sortant du tronc commun.

Évolution des signaux ferroviaires et de la position des aiguillages au cours de l'accident

2.2- Chronologie des événements survenus à la rame 2032 (bleue)

Évènement	Source	Heure correspondante sur la tachy	Temps après l'arrêt en pied de feu	Vitesse issue de la tachy	Manipulateur
Début de croisement des rames	Vidéo 2053	~ 17h 20' 10"	~ -7 s	5 km/h	traction
Passage traction/neutre	Tachy 2032	17h 20' 15" 0	- 2,0 s	4 km/h	
Passage neutre/freinage	Tachy 2032	17h 20' 15" 5	-2,0 s	3 km/h	
Rames en vis-à-vis	Vidéo 2053	~ 17h 20' 16"	~ -1 s	1 à 3 km/h	freinage
Arrêt en pied de feu	Tachy 2032	17h 20' 17" 0	0,0 s	arrêt	freinage
Passage freinage/neutre	Tachy 2032	17h 20' 17" 0	0,0 s	arrêt	
Passage neutre/traction	Tachy 2032	17h 20' 19" 0	2,0 s	0 km/h	
Fin de croisement des rames	Vidéo 2053	~ 17h 20' 24"	~ 7 s	0 km/h	traction
Passage traction/neutre	Tachy 2032	17h 20' 25" 0	8,0 s	0 km/h	
Passage neutre/traction	Tachy 2032	17h 20' 25" 5	8,5 s	0 km/h	
Passage traction/neutre	Tachy 2032	17h 20' 31" 5	14,5 s	5 km/h	
Passage neutre/traction	Tachy 2032	17h 20' 32" 0	15,0 s	5 km/h	
Brosse M2 phase 2	ETF 2032	17h 20' 34" 8	17,8 s	- 10 km/h	89 %
Brosse M1 phase 1	ETF 2032	17h 20' 35" 1	18,1 s	- 10 km/h	80 %
Brosse M2 phase 3	ETF 2032	17h 20' 35" 8	18,8 s	- 11 km/h	89 %
Brosse M1 phase 2	ETF 2032	17h 20' 36" 0	19,0 s	- 12 km/h	89 %
Brosse M2 phase 1	ETF 2032	17h 20' 36" 6	19,6 s	- 13 km/h	89 %
Brosse M1 phase 1	ETF 2032	17h 20' 36" 9	19,9 s	- 14 km/h	90 %
Passage traction/neutre	Tachy 2032	17h 20' 37" 0	20,0 s	-14 km/h	
Passage neutre/traction	Tachy 2032	17h 20' 37" 4	17,4 s	- 15 km/h	
Brosse M2 phase 1	ETF 2032	17h 20' 37" 5	20,5 s	- 15 km/h	88 %
Passage traction/neutre	Tachy 2032	17h 20' 37" 6	20,6 s	- 15 km/h	
Brosse M1 phase 1	ETF 2032	17h 20' 37" 7	20,7 s	- 16 km/h	90 %
Isolement ETF M1	ETF 2032	17h 20' 37" 7	20,7 s	- 16 km/h	90 %
Passage neutre/traction	Tachy 2032	17h 20' 39" 1	22,1 s	- 18 km/h	
1 ^{er} gong	Tachy 2032	17h 20' 42" 9	25,9 s	- 25 km/h	traction
2 ^e gong	Tachy 2032	17h 20' 43" 3	26,3 s	- 26 km/h	traction
3 ^e gong	Tachy 2032	17h 20' 43" 7	26,7 s	-26 km/h	traction
4 ^e gong	Tachy 2032	17h 20' 44" 1	27,1 s	-26 km/h	traction
Choc	Estimé tachy	17h 20' 45" 7	28,7 s	- 27 km/h	traction
Chasse-corps bas	ETF 2032	17h 20' 46" 9	29,9 s	- 20 km/h	traction
FU / Déclenchement veille 1	Tachy / ETF	17h 20' 49" 1	32,1 s	- 19 km/h	
Arrêt après choc	Tachy 2032	17h 20' 53" 0	36,0 s	arrêt	
Déclenchement veille 2	ETF 2032	17h 20' 57" 3	40,3 s	arrêt	
FU sans patin	ETF 2032	17h 21' 00" 1	43,1 s	arrêt	
Poignée porte 13 manœuvrée	ETF 2032	17h 21' 00" 1	43,1 s	arrêt	
Poignée porte 22 manœuvrée	ETF 2032	17h 21' 03" 2	46,2 s	arrêt	
Interphonie activée	ETF 2032	17h 21' 03" 5	46,5 s	arrêt	
Interphonie activée	ETF 2032	17h 21' 06" 1	49,1 s	arrêt	
Ouverture d'une porte voyageurs	Vidéo 2053	~ 17h 21' 23"	~ 67 s	arrêt	

Annexe 3 : Synthèse des essais réalisés sur la rampe à 6% à proximité de la station « Hauts de Massane » du tramway de Montpellier, durant la nuit du 8 au 9 juillet 2010

Dans le cadre de son enquête relative à l'accident de tamponnement de deux rames de tramway survenu le 12 mai 2010 sur le réseau de Montpellier, le BEA-TT, en lien avec le STRMTG, a demandé à l'exploitant de réaliser différents essais. Ces essais se sont déroulés durant la nuit du 8 au 9 juillet 2010, sur la rampe à 6% située à proximité de la station « Hauts de Massane » (sensiblement similaire à la rampe où a eu lieu l'accident) et avec la rame impliquée dans l'accident. Y participaient, outre le BEA TT, le STRMTG, ainsi que des représentants de l'exploitant, de l'Autorité organisatrice et des forces de l'ordre.

3.1- Essais relatifs aux stratégies de démarrage

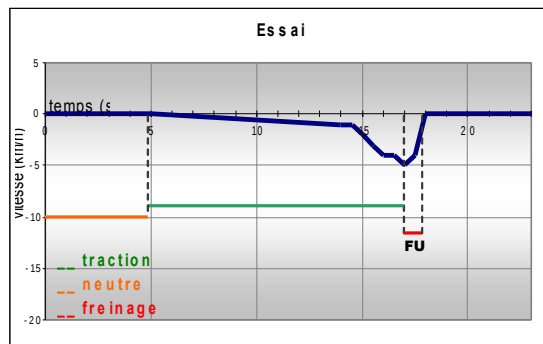
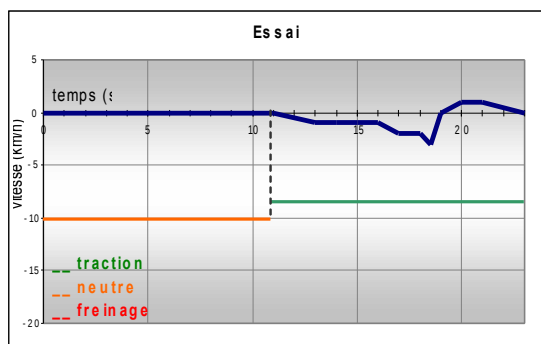
3.1.1 - Objectif

Il s'agit de déterminer les effets sur le déplacement de la rame d'un positionnement plus ou moins important ou rapide du manipulateur dans sa plage de traction, dans différentes conditions initiales (rails secs ou humides, rame à l'arrêt ou déjà en dérive).

3.1.2 - Description synthétique des essais et des résultats

N° essai	Heure	Conditions initiales	Actions de conduite	Constats	Points notables sur les enregistrements
1	00h07	Rail sec	- manipulateur en traction maximale	(cf commentaire sous le tableau)	
2	00h09	Rail humide	- manipulateur en position intermédiaire « traction forte »	- la rame « broute » et dérive légèrement	- pas de défaut brosse
			- puis retour lent vers le neutre	- la rame arrête de dériver puis avance lentement	
3	00h14	Rail sec	- manipulateur en position intermédiaire « traction légère » - puis manipulateur en traction maximale - arrêt par FU veille à 5 km/h	- la rame dérive sans « brouter »	- pas de défaut brosse
8	00h54	Rail humide	- manipulateur en position intermédiaire « traction moyenne »	- la rame avance sans « brouter »	- pas de défaut brosse
9	00h55	Rail humide	- manipulateur en traction maximale	(cf commentaire sous tableau)	- pas de défaut brosse

Lors des essais 1 et 9 effectués le 9 juillet 2010, la rame n'a ni avancé ni « brouté ». Cependant, lors du dépouillement, les enquêteurs n'ont pas eu la garantie que toutes les conditions nécessaires au démarrage aient été présentes (veille armée, autorisation de départ validée, etc). L'exploitant a donc refait l'essai, le 3 décembre 2010 (même rampe, même rame, rail sec) et durant la nuit du 21 au 22 mars 2011 (rampe de la rue Jules Ferry, autre rame Citadis 302, rail sec) et la rame a avancé sans « brouter ».



3.1.3 - Constats et enseignements

- concernant le démarrage de la rame à l'arrêt :
 - sur rail sec, le déplacement du manipulateur en position de traction maximale permet l'avancement de la rame (essais du 03 décembre 2010 et du 21-22 mars 2011) ;
 - sur rail humide, le déplacement du manipulateur dans une position intermédiaire de traction « forte » fait brouter la rame (essai 2) ;
 - le déplacement du manipulateur dans une position intermédiaire de traction « moyenne » permet l'avancement de la rame (essai 8 sur rail humide, *a fortiori* valable sur rail sec) ;
 - le déplacement du manipulateur dans une position intermédiaire de traction « légère » fait dériver la rame (essai 3 sur rail sec, *a fortiori* valable sur rail humide).
- concernant le rattrapage de la rame en dérive :
 - l'actionnement du manipulateur dans la position de traction maximale ne permet pas de rattraper la dérive engagée de la rame alors à 3 km/h (essai 3 sur rail sec, *a fortiori* valable sur rail humide) ;
 - le retour progressif du manipulateur d'une position intermédiaire de traction « forte » vers le neutre a permis de rattraper la dérive de la rame alors à 3 km/h, puis de la faire avancer (essai 2 sur rail humide, *a fortiori* valable sur rail sec). L'essai 4 décrit aux paragraphes suivants, bien qu'il n'ait pas été réalisé dans cet objectif, montre, qu'à la même vitesse, un retour rapide du manipulateur vers le neutre (au lieu de progressif) n'empêche *a contrario* pas la dérive.

3.1.4 - En résumé

- en rampe forte, il existe une plage de positionnement en traction du manipulateur qui permet le démarrage de la rame. En dessous de cette plage, la rame dérive sans brouter ;
- cette plage varie en fonction des conditions d'adhérence du rail. Sur rail sec, la position maximale de traction permet le démarrage de la rame. Sur rail humide, si le conducteur déplace trop son manipulateur en traction, la rame peut « brouter », voire dériver légèrement ;
- en rampe forte, une fois la dérive de la rame engagée, l'actionnement du manipulateur en position de traction maximale ne permet pas d'y remédier. Le retour progressif du manipulateur à la plage mentionnée ci-avant permet éventuellement, dans certains cas et à faible vitesse (3 km/h), de rattraper cette dérive.

3.2 - Essais relatifs aux défauts « brosse »

3.2.1 - Objectif

Il s'agit de vérifier si les défauts « brosse » et l'isolement des moteurs apparus lors de l'accident sont reproductibles, et dans quelles conditions.

Pour mémoire, la rame Citadis 302 est alimentée en 750 volts continu par l'intermédiaire d'un pantographe la reliant à la ligne aérienne de contact (LAC). Ce courant continu est transformé en courant alternatif triphasé par deux onduleurs, qui alimentent chacun un couple de moteurs asynchrones permettant la traction de la rame. Ces deux couples de moteurs sont situés sur les deux bogies extrêmes (le troisième bogie, situé au milieu de la rame, est un bogie porteur qui ne comporte pas de moteur). Un disjoncteur principal (DJ) situé entre le pantographe et les onduleurs permet de couper l'alimentation de ces moteurs.

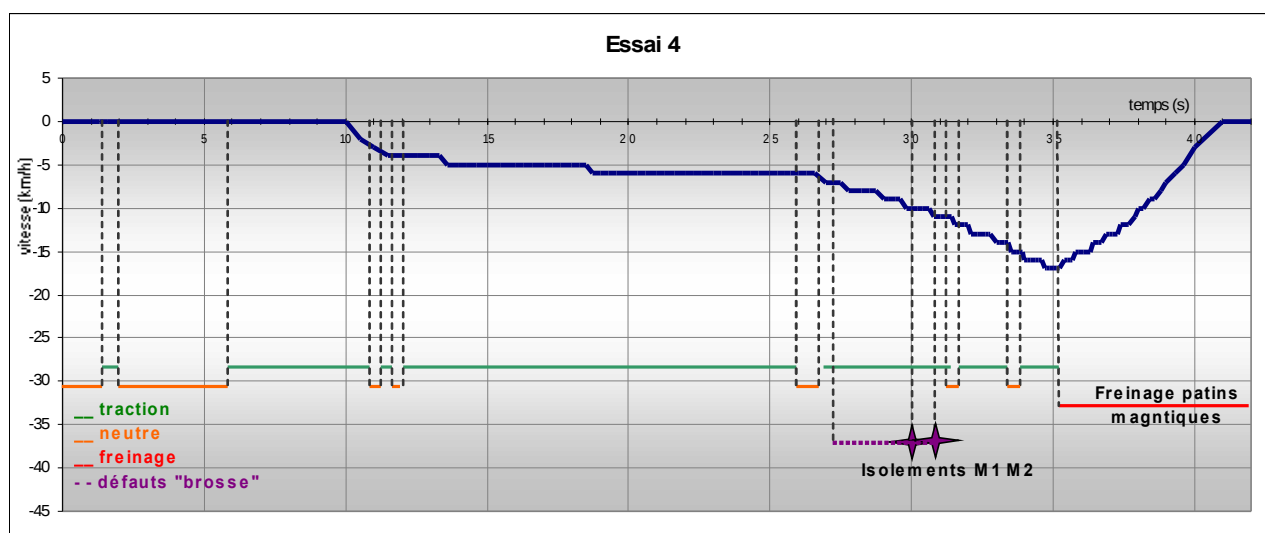
Afin de préserver l'intégrité des moteurs contre des sur-intensités, des protections ont été mises en place. En particulier :

- si les protections détectent plus de 20 fois de suite en moins de 150 ms une intensité supérieure à 1 300 ampères sur l'une des phases d'alimentation de l'un des couples de moteurs, elles inhibent temporairement l'onduleur correspondant pendant 0,5 s, et mémorisent dans les enregistreurs un « défaut brosse » ou « brossage ». Un tel « défaut brosse » ne traduit aucunement un patinage ou un blocage des essieux, ni un broutage de la rame, mais un phénomène de sur-intensité électrique susceptible d'endommager les moteurs. Aucune alarme ne remonte au conducteur. Durant la demi-seconde d'inhibition de l'onduleur, le couple de moteurs correspondant n'est alors plus alimenté et la traction de la rame n'est assurée que par le couple de moteurs de l'autre bogie ;
- si ces protections détectent trois « défauts brosse » en moins d'une minute sur une même phase d'alimentation de l'un des couples de moteurs, elles déclenchent temporairement le disjoncteur principal, le temps d'isoler automatiquement le couple de moteurs correspondant. Une alarme visuelle et sonore est remontée en cabine de conduite. Le déclenchement temporaire du disjoncteur dure environ 13 s, durant lesquelles tous les moteurs de la rame ne sont plus alimentés. Puis, après l'isolement du couple de moteurs défaillant, le disjoncteur se ré-enclenche et la traction de la rame est assurée par le seul couple de moteurs de l'autre bogie. Le dé-isolement d'un couple de moteurs ne peut être effectué qu'à vitesse nulle, sous certaines conditions.

3.2.2 - Description synthétique des essais et des résultats

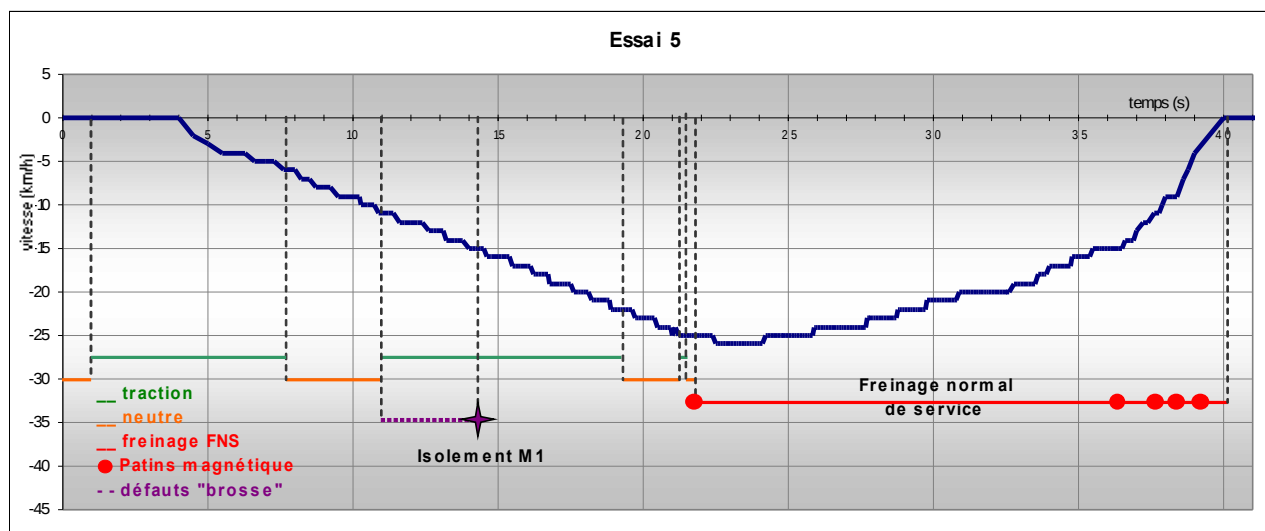
Essai n°4

N° essai	heure	Actions de conduite	Constats	Points notables sur les enregistrements
4	00h15	- manipulateur en position intermédiaire « traction légère » - retour au neutre puis manipulateur en traction maximale (6 fois) - actionnement des patins magnétiques à 17 km/h	- la rame dérive directement sans brouter - l'alarme isolement se déclenche - arrêt par patins magnétiques	- 4 défauts brosse sur Moteurs 1 (3 phase 1, 1 phase 2) - 3 défauts brosse sur Moteurs 2 (3 phase 1) - Isolement Moteurs 1 par brosses (phase 1) à 10 km/h - Isolement Moteurs 2 par brosses (phase 1) à 11 km/h



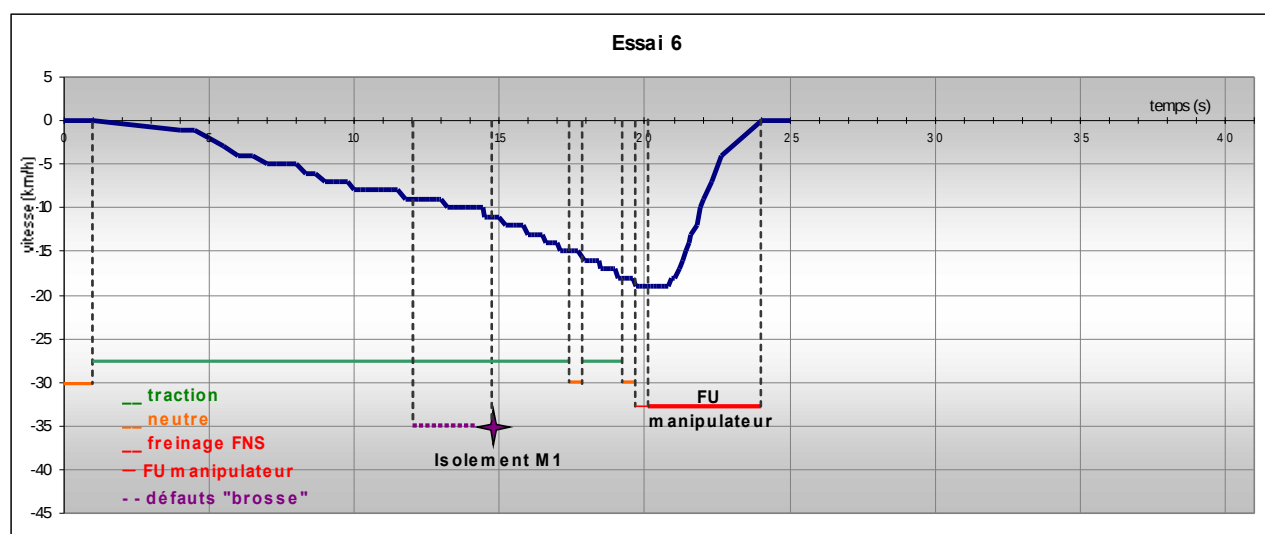
Essai n°5

N° essai	heure	Actions de conduite	Constats	Points notables sur les enregistrements
5	00h28	- manipulateur en position intermédiaire « traction légère » - retour au neutre puis manipulateur en traction maximale (2 fois) - actionnement du freinage normal de service (FNS) à 25 km/h - actionnement des patins magnétiques par intermittence	- la rame dérive directement sans brouter - l'alarme isolement se déclenche - l'alarme isolement disparaît - arrêt par FNS et patins magnétiques	- 5 défauts brosse sur Moteurs 1 (3 phase 1, 2 phase 2) - 5 défauts brosse sur Moteurs 2 (2 phase 1, 2 phase 2, 1 phase 3) - Isolement Moteurs 1 par brosses (phase 1) à 15 km/h



Essai 6

N° essai	heure	Actions de conduite	Constats	Points notables sur les enregistrements
6	00h36	- manipulateur en position intermédiaire « traction légère », puis en position de traction maximale - retour au neutre puis manipulateur en traction maximale (1 fois) - actionnement du freinage d'urgence manipulateur à 19 km/h	- la rame dérive directement sans brouter - l'alarme isolement se déclenche - arrêt par freinage d'urgence	- 3 défauts brosse sur Moteurs 1 (3 phase 1) - 2 défauts brosse sur Moteurs 2 (1 phase 1, 1 phase 3) - Isolement Moteurs 1 par brosses (phase 1) à 11 km/h



3.2.3 - Constats et enseignements

- Concernant la reproductibilité des défauts et de l'isolement d'un couple apparu lors de l'accident :
 - les défauts « brosse » et l'isolement d'un couple de moteurs survenu lors de l'accident du 12 mai 2010 ont pu être aisément reproduits au cours de chacun des trois essais réalisés. Pour mémoire, lors de cet accident, 8 défauts « brosse » avaient été enregistrés et le couple de moteurs M1 s'est isolé alors que la rame avait une vitesse de 15 km/h. Le conducteur avait eu une action rapide et fréquente du manipulateur du neutre à la position de traction maximale ;
 - ces défauts et isolements sont survenus avec une fréquence ou importance plus défavorable que lors de l'accident : 10 défauts brosse sur l'essai 5, isolement d'un couple de moteurs dès 10-11 km/h sur les essais 4 et 6, isolement des deux couples de moteurs sur l'essai 4 ;
 - ces défauts et isolements ont pu être constatés dans différentes conditions d'actionnement du manipulateur : actionnement rapide et fréquent lors de l'essai 4, actionnement modéré et mesuré au cours de l'essai 5, maintien en position de traction maximale pendant l'essai 6.
- Concernant les conditions d'apparition des défauts « brosse » :
 - les défauts « brosse » apparaissent vers 7-11 km/h. Leur nombre n'est pas directement corrélé à l'action que peut avoir le conducteur sur le manipulateur : 7 défauts sont apparus avec un actionnement rapide et fréquent du manipulateur lors de l'essai 4, 10 défauts avec un actionnement modéré et mesuré du manipulateur au cours de l'essai 5, 5 défauts avec un maintien du manipulateur dans la même position pendant l'essai 6.
- Concernant l'isolement d'un couple de moteurs :
 - lors de chacun des trois essais, l'isolement du couple de moteurs est intervenu effectivement après l'apparition de 3 défauts « brosse » en moins d'une minute sur une même phase, et est remonté par une alarme sonore et visuelle sur l'écran de conduite du conducteur ;
 - au cours des essais 4 et 6, la durée entre l'apparition de la demande d'isolement et l'arrêt de la rame est inférieure à 13 s (correspondant au temps moyen d'ouverture puis de refermeture du disjoncteur principal nécessaire pour isoler le couple de moteurs concerné). La rame ne disposait donc plus de possibilité de traction. Lors de l'essai 5, cette durée est supérieure à 13 s, le disjoncteur s'est donc refermé pendant la phase de freinage ;
 - après l'isolement, et avant l'engagement du freinage, la rame présente une accélération sensiblement constante, d'une valeur de $0,4 \text{ m/s}^2$ au cours de chacun des trois essais. En tenant compte des frottement et des incertitudes de mesure, cette valeur est cohérente avec une accélération due à la seule gravité sur une pente à 6% (en l'absence de possibilités de traction du fait de l'ouverture du disjoncteur principal).

3.2.4 - En résumé

- en forte rampe, la rame qui dérive avec un positionnement inadéquat du manipulateur dans la plage de traction génère des défauts « brosse ». Ces défauts apparaissent vers 7-11 km/h quelles que soient les réactions du conducteur sur le manipulateur (en traction ou au neutre), y compris lorsque le conducteur maintient son manipulateur à la même position de traction maximale. Ils ne sont pas remontés sous forme d'alarme et n'ont pas d'effets perceptibles par le conducteur sur la dynamique de la rame. Ils ne traduisent ni un patinage ou un blocage des essieux, ni un broutage de la rame ;
- en forte rampe, et avec la rame en dérive, les défauts « brosse » déclenchent, vers 10-15 km/h, un cycle d'isolement du couple de moteurs concerné. Pour cela, le disjoncteur principal s'ouvre pendant 13 secondes en moyenne, pendant lesquelles la rame ne dispose plus de moyens de traction, puis se referme après l'isolement du couple de moteurs.

3.3 - Essais relatifs aux démarrages en mode dégradé

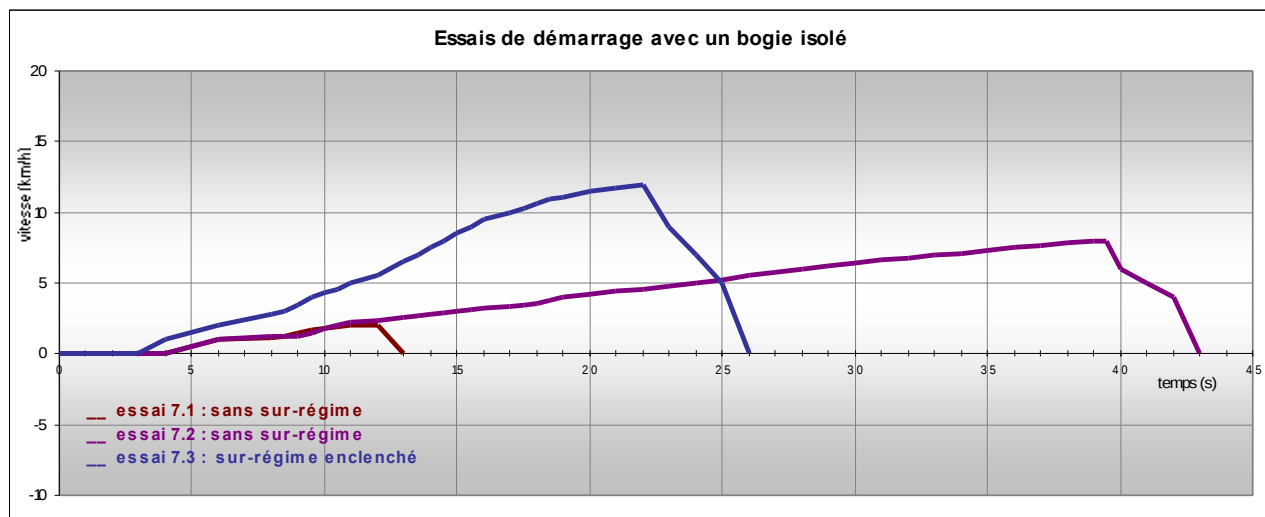
3.3.1 - Objectif

Il s'agit de vérifier la capacité de la rame à démarrer dans la rampe à 6% dans différentes configurations dégradées de motorisation : isolement d'un couple de moteurs, sur-régime enclenché.

Pour mémoire, l'isolement d'un des deux couples de moteurs ne doit pas empêcher le démarrage de la rame. Si nécessaire, la rame dispose d'une commande de sur-régime, que peut enclencher le conducteur, lui permettant de démarrer dans une pente de 7%. Cette commande n'est opérationnelle que si un des couples moteurs est isolé et si elle n'a pas été utilisée dans les 5 minutes précédentes. Elle délivre un sur-couple aux moteurs restants jusqu'à 10 km/h, qui régresse progressivement pour atteindre le couple normal à 15 km/h.

3.3.2 - Description synthétique des essais et des résultats

N° essai	heure	Conditions initiales	Actions de conduite	Constats	Points notables sur les enregistrements
7.1	00h37	- Rail sec - Moteurs M1 isolés	- manipulateur en position intermédiaire traction « moyenne » - arrêt par FU veille	- la rame avance lentement (2 km/h en 12 s)	- pas de brosse
7.2	00h38	- Rail sec - Moteurs M1 isolés	- manipulateur en position intermédiaire traction « moyenne » - arrêt par FNS*	- la rame avance lentement (8 km/h en 39 s)	- pas de brosse
7.3	00h41	- Rail sec - Moteurs M1 isolés - Sur-régime enclenché	- manipulateur en position intermédiaire traction « moyenne » - arrêt par FNS	- difficulté à trouver la bonne position du manipulateur pour faire avancer la rame - la rame avance lentement (12 km/h en 22 s)	- pas de brosse



3.3.3 - Constats et enseignements

- au cours des trois essais, la rame a pu démarrer sur rail sec en rampe de 6%, malgré un des deux couples de moteurs isolé ;
- l'accélération moyenne (à partir du démarrage effectif de la rame) est de 0,06 m/s² sans le sur-régime (essai 7.2) et de 0,2 m/s² avec le sur-régime enclenché (essai 7.3) ;

* Terme figurant dans le glossaire

- lors de l'essai 7.3 avec le sur-régime enclenché, le conducteur a pu éprouver des difficultés à trouver la plage adéquate du manipulateur permettant le démarrage effectif de la rame (4 tentatives préalables de traction sans succès, puis de retour au neutre ou au freinage, au cours desquelles la rame a pu soit rester immobile, soit très légèrement dériver). Cela confirme les conclusions mentionnées au paragraphe relatif aux stratégies de démarrage.

3.3.4 - En résumé :

Sur rail sec, malgré un couple de moteurs isolé, la rame peut démarrer dans une rampe à 6%.

3.4 - Essais relatifs aux capacités de freinage en dérive

3.4.1 - Objectif

Il s'agit de vérifier si chacun des différents systèmes de freinage à disposition du conducteur permet d'arrêter la rame partie en dérive sur une forte rampe.

Pour mémoire, la rame Citadis 302 utilise trois dispositifs de freinage :

- le freinage mécanique, par le serrement de plaquettes de frein sur un disque. Il existe un dispositif par essieu sur les bogies moteurs et un par roue sur le bogie porteur, soit 8 au total sur l'ensemble de la rame ;
- le freinage électrique, par renvoi en ligne ou dans des résistances en toiture de l'électricité des moteurs fonctionnant alors en dynamo et créant ainsi un couple résistant. Ce freinage est assuré par les deux couples de moteurs de traction ; lorsque l'un de ces couples est isolé ou lorsque le disjoncteur principal est ouvert, les automatismes de la rame compensent par un freinage mécanique plus important ;
- le freinage électromagnétique, par plaquage sur le rail de patins électromagnétiques solidaires de la rame. Il existe 2 patins par bogies, soit 6 sur l'ensemble de la rame.

Plusieurs commandes sont à la disposition du conducteur pour activer ces dispositifs :

- le manipulateur de traction/freinage dans sa plage de freinage normal de service (FNS) permet de moduler l'effort de freinage et agit sur les dispositifs de freinage mécanique et électrique. Il est couplé à un dispositif d'anti-enrayage/patinage et à un dispositif de sablage des rails. Il doit assurer une décélération a_e comprise entre 0 et $1,2 \text{ m/s}^2$ (sur du plat) après un temps de réponse équivalent t_e maximal de 1,5 s. La valeur maximale de ce FNS est dénommée freinage maximal de service ou FMS ;
- le manipulateur de traction/freinage dans sa position de freinage d'urgence (FU) déclenche un freinage irréversible agissant sur les trois dispositifs de freinage mécanique, électrique et électromagnétique. Il est couplé aux dispositifs d'anti-enrayage/patinage et de sablage. Pour le conducteur, cette position extrême du manipulateur est nettement différenciable du freinage maximal de service par un cran spécifique en fin de course. Ce freinage doit assurer une décélération a_e minimale de $2,8 \text{ m/s}^2$ (sur du plat) après un temps de réponse équivalent t_e maximal de 0,85 s ;
- le bouton « coup de poing » déclenche de manière irréversible un freinage dit « de sécurité » (FS). Il agit sur les dispositifs de freinage mécanique et électromagnétique. Il est couplé au dispositif de sablage. Il doit assurer une décélération a_e minimale de 1 m/s^2 (sur du plat) après un temps de réponse équivalent t_e maximal de 2 s ;
- le bouton poussoir déclenche, tant qu'il est maintenu appuyé, le dispositif de freinage électromagnétique. Aucune performance de décélération ou de temps de réponse n'est exigée par les normes ou règles de l'art. Il n'a habituellement vocation à être utilisé par le conducteur qu'à l'arrêt, ou, le cas échéant, sur certains réseaux, à des vitesses faibles et dans des configurations bien particulières.

Par ailleurs, le freinage d'urgence se déclenche automatiquement lorsque le dispositif de veille que le conducteur doit actionner périodiquement relève des manipulations anormales. Dans un tel cas le freinage d'urgence doit assurer une décélération a_e minimale de $1,2 \text{ m/s}^2$ après un temps de réponse équivalent t_e maximal de 1,5 s.

3.4.2 - Description synthétique des essais et des résultats

N° essai	heure	Freinage actionné	Arrêt obtenu	Bogies électriquement isolés	Vitesse initiale (1)	Distance d'arrêt (1)	Temps d'arrêt (1)	Décélération moyenne (1)	Décélération équivalente a_e (2)
4	00h15	Patins magnétiques	oui	2 sur 2	17 km/h	17 m	7 s	0,7 m/s ²	
5	00h28	Frein normal de service (FNS) et patins magnétiques par intermittence	oui	2 sur 2 puis 1 sur 2	25 km/h	98 m	19 s	0,4 m/s ²	0,3 m/s ²
6	00h36	Freinage d'urgence (FU) par manipulateur	oui	2 sur 2	19 km/h	11 m	5 s	1,1 m/s ²	2,1 m/s ²

(1) : selon la formule $a=v/t$

(2) : selon la formule $a_e=v^2/2(d-vt_e)$ en considérant un temps de réponse équivalent t_e normé.

4.3 - Constats et enseignements

- le freinage d'urgence (FU), le freinage normal de service (FNS) et le déclenchement des seuls patins magnétiques ont permis d'arrêter la rame en dérive à des vitesses de 17 à 25 km/h ;
- le freinage de sécurité (FS) n'a pas été testé. Ce freinage fait notamment appel au dispositif de patins magnétiques, qui, utilisé seul sur l'essai 4, a permis d'arrêter la rame. On peut donc raisonnablement penser qu'il aurait également stoppé la rame ;
- il est difficile de tirer des conclusions de la faible valeur de décélération constatée sur l'essai 5, dans la mesure où la position du manipulateur durant le freinage n'a pas été relevée ;
- la décélération équivalente a_e de 2,1 m/s² constatée sur l'essai 6 en freinage d'urgence dans une pente de 6% est cohérente⁽¹⁾ avec la valeur minimale de 2,8 m/s² sur plat requise par la norme EN 13452-1 relative aux systèmes de freinage des transports publics urbains et suburbains.

4.4 - En résumé

Sur rail sec, chacune des différentes commandes de freinage à disposition du conducteur (manipulateur déclenchant un freinage normal de service, manipulateur déclenchant un freinage d'urgence, coup de poing déclenchant un freinage de sécurité, bouton poussoir déclenchant les patins magnétiques) permet d'arrêter la rame en dérive sur une pente de 6% ayant atteint une vitesse de 17-25 km/h.

(1) En approximation de 1^{er} ordre, la décélération théorique serait de 2,2 m/s² ($2,8 \text{ m/s}^2 - g \sin \alpha$)

3.5 - Synthèse

Il ressort de ces essais qu'en forte rampe :

- il existe une plage de positionnement en traction du manipulateur qui permet le démarrage de la rame. En dessous de cette plage, la rame dérive sans brouter. Cette plage varie en fonction des conditions d'adhérence du rail. Sur rail sec, la position maximale de traction permet le démarrage de la rame. Sur rail humide, si le conducteur déplace trop son manipulateur en traction, la rame « broute », voire dérive légèrement ;
- une fois la dérive de la rame amorcée, l'actionnement du manipulateur en position de traction maximale ne permet pas de remédier à cette situation. Le retour progressif du manipulateur à la plage mentionnée à l'item ci-avant permet éventuellement, dans certains cas et à faible vitesse (3 km/h), de rattraper cette dérive ;
- sur rail sec, la rame peut démarrer avec un couple de moteurs isolé ;
- la rame qui dérive avec un positionnement inadéquat du manipulateur dans la plage de traction génère des défauts « brosse ». Ces défauts apparaissent vers 7-11 km/h quelles que soient les réactions du conducteur sur le manipulateur (en traction ou au neutre), y compris lorsque le conducteur maintient son manipulateur à la même position de traction maximale. Ils ne sont pas remontés sous forme d'alarme et n'ont pas d'effets perceptibles par le conducteur sur la dynamique de la rame. Ils ne traduisent pas un patinage ou un blocage des essieux, ni un broutage de la rame ;
- avec la rame en dérive, les défauts « brosse » déclenchent, vers 10-15 km/h, un cycle d'isolement d'un couple de moteurs. Pour cela, le disjoncteur principal s'ouvre pendant 13 secondes en moyenne, pendant lesquelles la rame ne dispose plus de moyens de traction, puis ce disjoncteur se referme après l'isolement du couple de moteurs concerné ;
- sur rail sec, chacune des différentes commandes de freinage à disposition du conducteur (manipulateur déclenchant un freinage normal de service, manipulateur déclenchant un freinage d'urgence, coup de poing déclenchant un freinage de sécurité, bouton poussoir déclenchant les patins magnétiques) permet d'arrêter la rame en dérive sur une rampe de 6% ayant atteint une vitesse de 17-25 km/h.

Annexe 4 : État des lieux des durées de formation initiale des conducteurs de tramway

4.1 - Objectif de l'état des lieux

L'article 37 du décret n°2003-425 du 9 mai 2003 relatif à la sécurité des transports publics guidés prévoit :

« Le personnel d'exploitation affecté à une tâche de sécurité, en particulier les conducteurs, reçoit une formation adéquate et une habilitation fixées par le règlement de sécurité de l'exploitation. Nul ne peut être affecté à une tâche de sécurité pour laquelle il n'est pas habilité.

Un arrêté du ministre chargé des transports définit, en tant que de besoin, les conditions d'aptitude physique minimales exigées des personnes chargées de la conduite ou du pilotage ainsi que les durées minimales de formation initiale et continue imposées aux personnes affectées aux tâches de sécurité. »

Il n'existe pas, à ce jour, d'arrêté pris en application de cet article 37. Pour mémoire, le règlement de sécurité de l'exploitation (RSE) est élaboré par l'exploitant et approuvé par le préfet du département dans lequel le système est implanté (préfet de région en Ile-de-France). La formation et l'habilitation relèvent donc d'exigences définies et approuvées au niveau local, au travers du RSE.

Il s'agit de faire un état des lieux des durées de formation, en se plaçant du point de vue du futur conducteur, en déterminant le temps durant lequel un il bénéficie d'une formation théorique et le temps durant lequel il conduit une rame en présence d'un formateur ou d'un tuteur avant d'être considéré comme autonome.

4.2 – Méthode utilisée

L'état des lieux porte sur tous les réseaux de tramway (fer ou pneus) en service au 1^{er} janvier 2011, à l'exception des réseaux de TVR et de tram-trains⁵ compte tenu de leurs spécificités techniques et réglementaires. Il a donc concerné les 18 réseaux de tramway desservant les agglomérations suivantes : Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Île-de-France, Le Mans, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier⁶, Mulhouse, Nantes, Nice, Orléans, Rouen, Saint-Etienne, Strasbourg, Toulouse, Valenciennes.

Pour réaliser cet état des lieux, un questionnaire a été adressé aux ingénieurs sécurité des exploitants de ces réseaux, sollicitant des données chiffrées sur les cinq thèmes suivants :

- la durée totale du stage de formation initiale d'un conducteur de tramway,
- la durée de la partie du stage consacrée à la théorie (ie en salle),
- la durée de la partie du stage consacrée à la pratique et à la conduite sans voyageur,
- la durée de conduite sans voyageur, par stagiaire,
- la durée de conduite commerciale avec voyageurs, accompagnée d'un tuteur.

Tous les exploitants sollicités ont répondu.

5 Les réseaux qui n'ont pas été pris en compte sont ceux de Caen et de Nancy pour le TVR et les lignes T4 d'Île-de-France, Rhônexpress et Mulhouse-Vallée de la Thur pour les tram-trains ou assimilés.

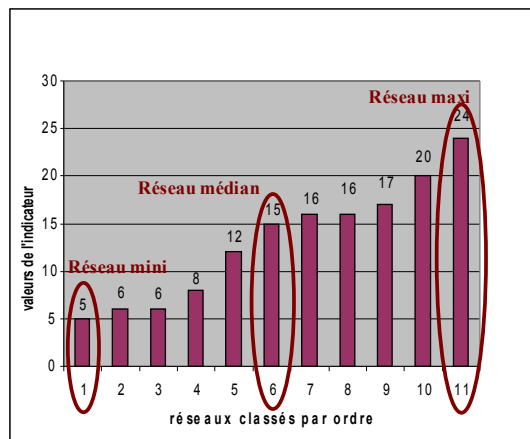
6 Le BEA-TT possédant déjà les informations dans le cadre de son enquête, le questionnaire n'a pas été ré-adressé à cet exploitant.

4.3 - Exploitation des données

4.3.1 - Mode de présentation des informations

Pour un indicateur donné, 6 informations sont présentées :

réseau mini	valeur la plus faible de l'indicateur parmi l'ensemble des réseaux (5 sur l'exemple)
réseau médian	« médiane » au sens statistique : les réseaux ayant été classés par ordre croissant, valeur de l'indicateur (15 sur l'exemple) du réseau du rang du milieu (rang 6 sur l'exemple)
réseau maxi	valeur la plus forte de l'indicateur parmi l'ensemble des réseaux (24 sur l'exemple)
moyenne des réseaux	moyenne des valeurs de l'indicateur pour l'ensemble des réseaux (11,7 sur l'exemple)
rapport entre mini et maxi	rapport entre la valeur la plus forte et la valeur la plus faible de l'indicateur ($24/5=4,8$ sur l'exemple)
écart-type	selon définition statistique



4.3.2 - Indicateurs 1 et 2 relatifs au stage de formation initiale

Tous les réseaux proposent un stage de formation initiale. Sa durée et la part consacrée à la conduite sont précisées dans les deux tableaux ci-après. Cependant, ces chiffres doivent être pris comme des ordres de grandeur, compte tenu des biais importants. En particulier, certains réseaux intègrent dans leur stage tout ou partie d'une conduite accompagnée avec voyageurs, alors que d'autres ne l'intègrent pas.

Indicateur 1 Durée du stage de formation initiale	
Réseau mini	10 jours
Réseau médian	16 jours
Réseau maxi	25 jours
Moyenne des réseaux	18 jours
Rapport de 1 à 2,5 entre mini et maxi Écart-type de 4 j	

Indicateur 2 Part du stage consacrée à la pratique de la conduite	
Réseau mini	33 %
Réseau médian	50 %
Réseau maxi	68 %
Moyenne des réseaux	50 %
Rapport de 1 à 2 entre mini et maxi Écart-type de 9 %	

A noter que des réseaux incluent dans leur stage des actions de formation sans lien direct avec le métier de conducteur (habilitation électrique, intervention sur installations fixes, par exemple). Les durées correspondantes ont été déduites. Les données ci-avant ne concernent que le métier de conducteur.

4.3.3 - Indicateur 3 relatif au temps de formation théorique et de conduite effective d'un stagiaire

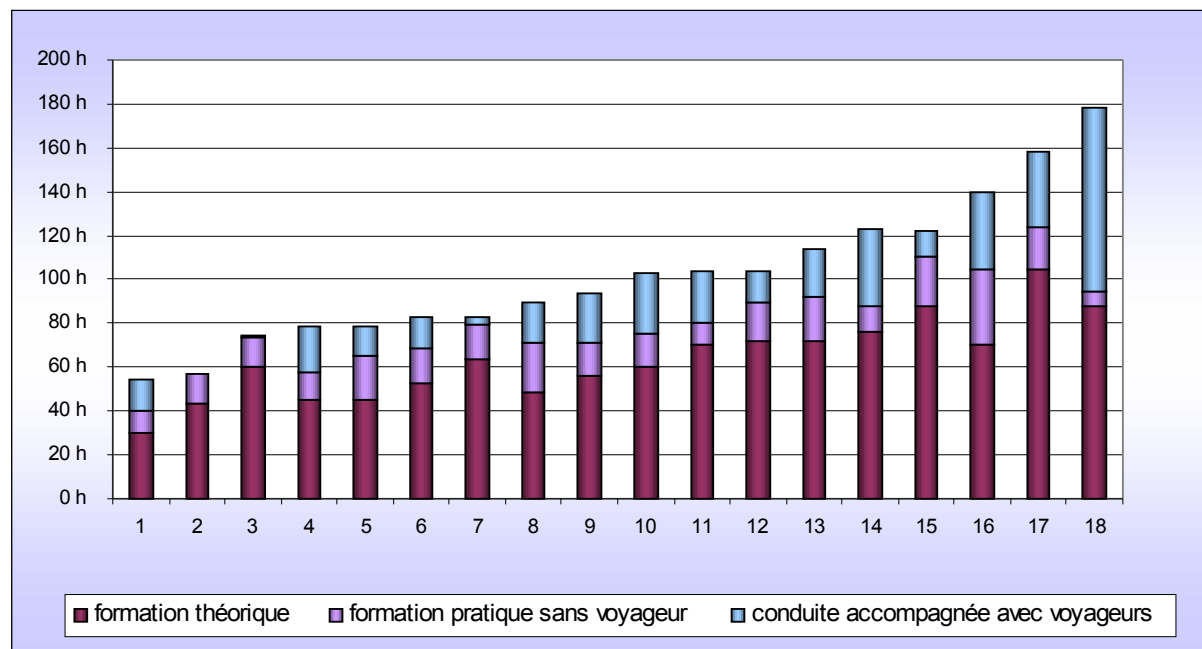
Cet indicateur a vocation à représenter le temps individuel d'acquisition des connaissances et des compétences d'un futur conducteur avant qu'il soit considéré comme autonome. Il est la somme :

- du temps durant lequel l'agent suit une formation théorique,
- du temps durant lequel l'agent conduit effectivement une rame sans voyageur,
- du temps durant lequel l'agent conduit effectivement une rame avec voyageurs, accompagné d'un tuteur ou d'un formateur.

Pour un réseau donné, la durée de la formation théorique est généralement identique pour tous les stagiaires. La durée de la conduite effective sans voyageur peut dépendre du nombre de stagiaires dans le groupe et parfois de la ligne sur laquelle ils seront amenés à conduire. La durée de conduite accompagnée avec voyageurs est souvent déterminée individuellement en fonction d'une évaluation des compétences de l'agent concerné. Pour chaque réseau, deux valeurs de cet indicateur ont été calculées, correspondant aux fourchettes mini et maxi, et deux tableaux sont donc présentés :

Indicateur 3-1 Temps <u>minimum</u> de formation théorique et de conduite effective d'un stagiaire	
Réseau mini	54 heures
Réseau médian	92 heures
Réseau maxi	179 heures
Moyenne des réseaux	97 heures
Rapport de 1 à 3,3 entre mini et maxi Écart-type de 33 h	

Indicateur 3-2 Temps <u>maximum</u> de formation théorique et de conduite effective d'un stagiaire	
Réseau mini	54 heures
Réseau médian	98 heures
Réseau maxi	179 heures
Moyenne des réseaux	102 heures
Rapport de 1 à 3,3 entre mini et maxi Écart-type de 32 h	



Représentation des temps maximum de formation théorique et de conduite effective d'un stagiaire selon les réseaux

4.3.4 - Indicateur 4 relatif au temps de conduite effective d'un stagiaire

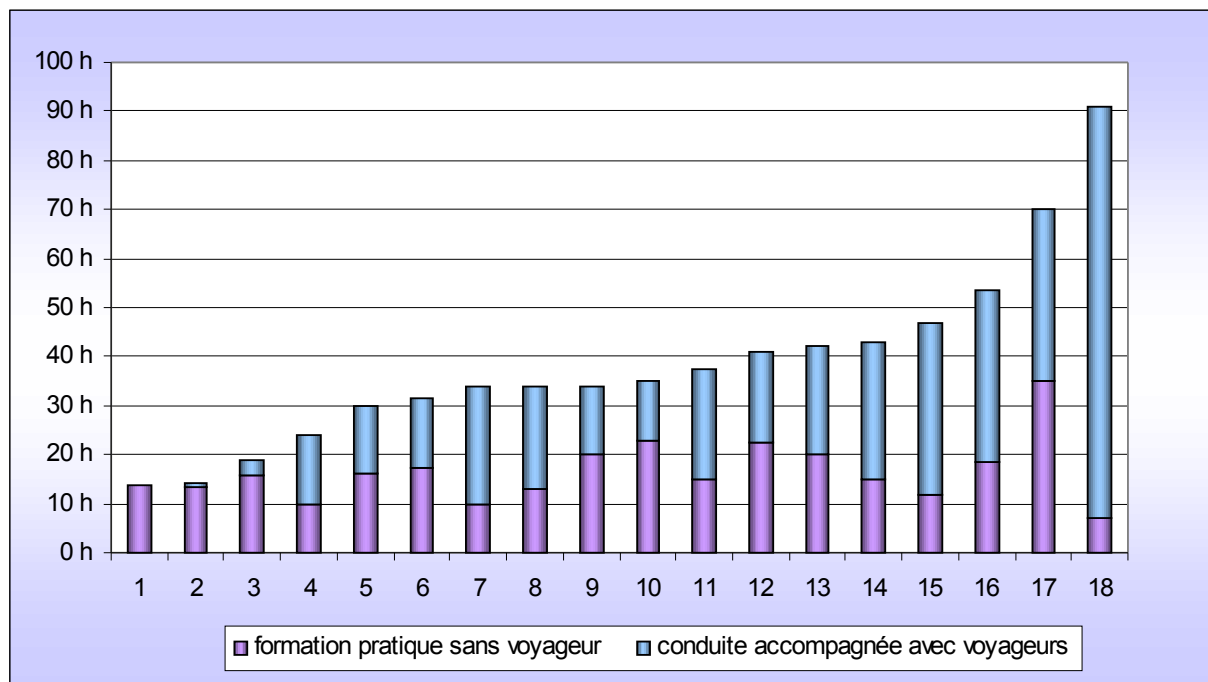
Cet indicateur a vocation à représenter le temps individuel d'acquisition des compétences pratiques d'un futur conducteur avant qu'il soit considéré comme autonome. Il est la somme :

- du temps durant lequel l'agent conduit une rame sans voyageur,
- du temps durant lequel l'agent conduit une rame avec voyageurs, accompagné d'un tuteur ou d'un formateur.

Comme pour l'indicateur précédent, pour chaque réseau, deux valeurs de cet indicateur ont été calculées, correspondant aux fourchettes mini et maxi, et deux tableaux sont donc présentés :

Indicateur 4-1 Temps minimum de conduite effective d'un stagiaire	
Réseau mini	14 heures
Réseau médian	33 heures
Réseau maxi	91 heures
Moyenne des réseaux	35 heures
Rapport de 1 à 6,5 entre mini et maxi Écart-type de 18 h	

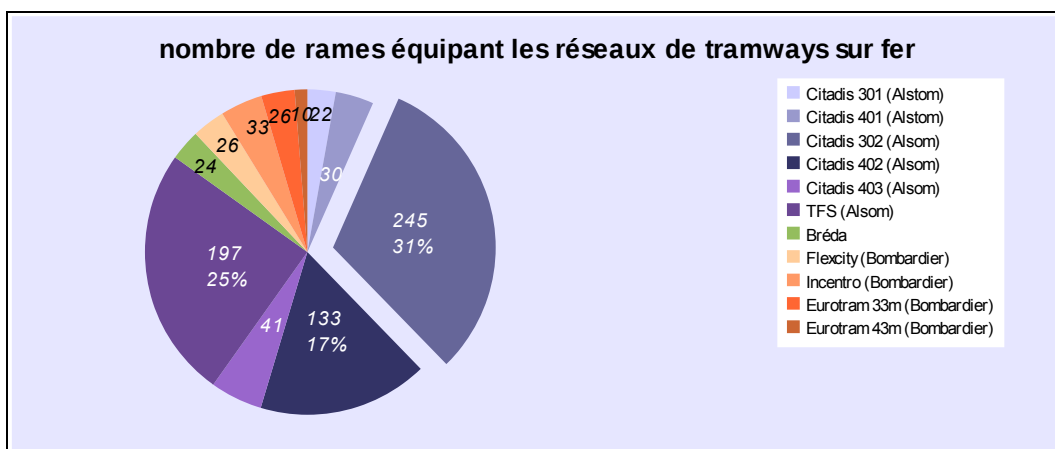
Indicateur 4-2 Temps maximum de conduite effective d'un stagiaire	
Réseau mini	14 heures
Réseau médian	34 heures
Réseau maxi	91 heures
Moyenne des réseaux	39 heures
Rapport de 1 à 6,5 entre mini et maxi Écart-type de 18 h	



Représentation des temps maximum de conduite effective d'un stagiaire selon les réseaux

Annexe 5 : Données sur le parc de matériel roulant des réseaux de tramway sur fer français

5.1- Nature des rames



5.2- État des lieux des systèmes d'anti-dérive équipant les tramway sur fer

	Système d'anti-dérive
Lignes de tramway fer en service au 31/12/2010	
Bordeaux	Non
Grenoble	Non
IdF RATP	Non
Le Mans	Non
Lille	?
Lyon	Non
Marseille	Oui
Montpellier	Non
Mulhouse	Non
Nantes	Non
Nice	Non
Orléans	Non
Rouen	Non
Saint-Étienne	Non
Strasbourg	?
Toulouse	Oui
Valenciennes	Non
Futures lignes de tramway fer dont le matériel roulant est connu au 31/12/2010	
Angers	Oui
Brest	Oui
Dijon	Oui
Le Havre	Oui
Montpellier	Oui
Orléans	Oui
Reims	Oui
Tours	Oui
Besançon	?

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

**Présent
pour
l'avenir**

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

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

www.developpement-durable.gouv.fr