

# Expertise sur la sécurité du système de guidage du transport sur voie réservée Nancy et Caen



*Liberté • Egalité • Fraternité*  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



ministère  
de l'Équipement  
des Transports  
du Logement  
du Tourisme  
et de la Mer

# CONSEIL GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Affaire n°2002-0264-01  
Mars 2003

## EXPERTISE SUR LA SECURITE DU SYSTEME DE GUIDAGE DU TRANSPORT SUR VOIE RESERVEE NANCY ET CAEN

Bertrand DESBAZEILLE, Jean-Gérard KOENIG,  
ingénieurs généraux des Ponts et Chaussées  
Yves BONDUELLE, administrateur civil hors classe

### Destinataires

- M. le secrétaire d'Etat au Transport et de la Mer
- M. le directeur des Transports terrestres



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ministère  
de l'Équipement  
des Transports  
du Logement  
du Tourisme  
et de la Mer



conseil général  
des Ponts  
et Chaussées  
Le Vice-Président

La Défense, le - 9 AVR. 2003

Le vice-président du Conseil général  
des Ponts et Chaussées  
à  
Monsieur le directeur des Transports terrestres

**objet :** Transport sur voie réservée Nancy et Caen  
**affaire suivie par :** Bertrand DESBAZEILLE - IGPC  
tél.01.40.81.68.60, fax 01.40.81.68.88  
mél. bertrand.desbazeille@equipement.gouv.fr

Par lettre du 27 novembre 2002, vous me demandiez de procéder à un complément d'expertise spécifique sur le système de guidage afin de lever les incertitudes qui pèsent sur ce tramway sur pneu, de se prononcer sur la fiabilité industrielle et sur son niveau de sécurité.

Je vous prie de trouver, ci-joint, le rapport établi par MM. Bertrand Desbazeille, Jean-Gérard Koenig et Yves Bonduelle.

L'expertise menée avec l'aide de la RATP conclut à la validité du système de guidage sous réserve que soient strictement respectées les tolérances d'usure du galet et du rail, ce qui oblige les autorités organisatrices de transport à surveiller la bonne exécution de contraintes d'entretien et de maintenance.

Il importe aussi que soient strictement respectées les limites de vitesse dans les virages de faible rayon et pour cela que la vitesse soit enregistrée et que ces enregistrements soient exploités de façon préventive.

Le niveau de sécurité ne restera satisfaisant que dans la mesure où les règles de sécurité d'exploitation seront strictement observées, et où un niveau suffisant de moyens financiers sera provisionné dans la durée pour faire face aux dépenses prévisibles d'entretien telles que rechargement du rail, remplacement du rail, réfection de la piste de roulement des pneus quand des ornières apparaîtront.

Pour éviter l'apparition de risques pour la sécurité, il est donc indispensable que soit mise en place sur la durée une politique adéquate d'entretien préventif et de renouvellement couvrant le rail, la piste de roulement des pneus et le galet. Les autorités organisatrices de transport et les services de l'Etat doivent s'organiser de manière permanente pour atteindre cet objectif.

Je vous propose de considérer ce rapport communicable aux termes de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 modifiée, sauf objection de votre part dans un délai de deux mois.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Claude Martinand', written over a horizontal line.

Claude MARTINAND

## Diffusion du rapport n° 2002-0264-01

- M. le secrétaire d'Etat aux Transports et à la Mer
- M. le directeur des Transports terrestres
- M. le directeur de la Sécurité et de la Circulation routière  
(Réglementation technique des véhicules)
- M. le directeur du STRMTG
- Mme la présidente de la 2<sup>ème</sup> section
- M. le président de la 3<sup>ème</sup> section
- M. le coordonnateur de la MIGT ¾
- M. le coordonnateur de la MIGT 8
- M. le préfet de Meurthe-et-Moselle
- M. le préfet du Calvados
- Mme la présidente de la RATP
- MM. Desbazeille, Bonduelle et Koenig
- M. Yvon Noël (RATP)
- M. le directeur du CERTU (à l'attention de M. Rambaud)
- Mme la directrice de l'INRETS (à l'attention de M. Coquery)

## Résumé

Le système TVR (transport sur voie réservée), tramway sur pneu, installé à Nancy, a eu de nombreux avatars, avec pour conséquence un manque de fiabilité et de disponibilité du matériel, et un incident sérieux mettant en cause la sécurité qui conduisit le préfet de la Meurthe-et-Moselle à arrêter l'exploitation commerciale pendant un an. Depuis la reprise, six pertes de guidage ont suscité des craintes sur la sécurité. Le même système TVR est aussi en exploitation à Caen depuis le 18 novembre 2002 et deux incidents inquiétants s'y sont produits. La direction des transports terrestres a demandé qu'une expertise soit faite sur la sécurité du guidage ; c'est l'objet du présent rapport.

Les efforts de techniciens et des services de contrôle se sont dans un premier temps concentrés sur le galet dont les améliorations doivent aboutir sous peu à une pièce dotée d'un niveau de sécurité attesté. La géométrie du rail doit être vérifiée et des corrections doivent être apportées là où les tolérances ne sont pas respectées. Les courbes de très petit rayon, proches de la gare de Nancy doivent être redressées. L'interface galet/rail devra dans la durée de l'exploitation faire l'objet d'une surveillance rigoureuse. La vitesse maximum dans les courbes, et en particulier celles de faible rayon doivent être définies et respectées, et donc contrôlées comme cela se fait sur les tramways.

L'ensemble de ces éléments : galet, rail, interface galet/rail, et vitesse dans les courbes doit faire l'objet d'un contrôle rigoureux et suivi dans le temps. Le respect de ces dispositions garantit la sécurité.

Une des caractéristiques du système de guidage est qu'il produit un frottement, donc une usure du galet et du rail, donc des dépenses d'entretien peut-être sous-évaluées à l'origine. Le niveau d'entretien exigé peut se comparer à ce qui se pratique pour des rails de tramway. Il appartient aux autorités organisatrices des transports de Nancy et de Caen de mettre en œuvre, ou de faire mettre en œuvre, les moyens techniques, organisationnels et financiers nécessaires pour assurer la maintenance du système dans de bonnes conditions de sécurité.

Les services de l'Etat devront quant à eux s'assurer : d'abord de la mise en œuvre des dispositions nécessaires, puis du maintien dans le temps des tolérances admissibles pour assurer la sécurité.

## Sommaire

- 1** - La commande
- 2** - Le contexte
- 3** - Le déroulement de la mission
- 4** - Le développement du système TVR
  - 4.1. Historique général
  - 4.2. Les essais en Val-de-Marne
- 5** - Description comparée des systèmes de Nancy et de Caen
  - 5.1. Comparaison technique
  - 5.2. Comparaison institutionnelle
  - 5.3. Comparaison des calendriers de mise en service
- 6** - Les faiblesses de conception du véhicule liées au mode routier
  - 6.1 Verrouillage des articulations
  - 6.2 « Silent-block » des barres de traction
  - 6.3 Manque de visibilité
  - 6.4 « Le volant tourne tout seul »
  - 6.5 L'usure des pneus
  - 6.6 Le freinage excessif
- 7** - Les difficultés rencontrées, l'accueil néanmoins favorable du public
- 8** - Huit incidents mettant en cause la sécurité
- 9** - Expertise sur le système de guidage
  - 9.1. Le galet
  - 9.2. Le rail
  - 9.3. Le système
- 10.** Moyens à mettre en œuvre pour assurer la sécurité du galet
  - 10.1. Le galet
  - 10.2. Le rail
  - 10.3. L'interface voie matériel roulant
  - 10.4. Exploitation
- 11.** Moyens à mettre en œuvre pour éviter l'éclatement du pneu
- 12.** Les dispositions prises par les acteurs du système TVR
- 13.** Préparer les services de l'Etat à leur mission relative à la sécurité
- 14.** Conclusion

## **Annexes**

- 1.** Lettre de commande du 27 novembre 2002
- 2.** Lettre de commande du 4 juillet 2002
- 3.** Personnes rencontrées
- 4.** Principe de guidage
- 5.** Expertise de la RATP
- 6.** Page de garde du document Bombardier du 20 décembre 2002 « sécurité au déraillement du galet »
- 7.** Page de garde du document Bombardier du 30 janvier 2003 « maintenance de la géométrie du rail de guidage » et un extrait de ce document.
- 8.** Page de garde du document Bombardier du 11 mars 2003 « géométrie voie. Développements depuis le 17 janvier 2003 »



## 1 - La commande

Le 4 juillet 2002, le directeur de Cabinet de M. le secrétaire d'Etat aux Transports et à la Mer demandait au Conseil général des Ponts et Chaussées une mission avec pour objectif :

- a. de se prononcer sur la fiabilité et sur le niveau de sécurité actuel du système TVR,*
- b. d'effectuer des recommandations sur la sécurité des systèmes de transport de Nancy et de Caen, ces recommandations pouvant porter sur le véhicule, sur l'infrastructure, sur l'exploitation, sur la maintenance et devront distinguer clairement les acteurs auxquelles elles s'adressent,*
- c. d'effectuer des recommandations plus générales sur l'organisation mise en place pour la construction, l'exploitation et la maintenance des systèmes de transports guidés, ainsi que pour les contrôles internes et externes.*

Cette première mission faisait suite aux nombreux dysfonctionnements rencontrés à Nancy et répondait aux hésitations d'alors concernant l'opportunité, du point de vue de la sécurité, de mettre en service le système TVR à Caen. Le rapport d'étape du 6 novembre 2003 (affaire n° 2002-0141-01) conclut favorablement à cette mise en service.

A la suite des quatre pertes de guidage et dysfonctionnements inquiétants survenus aux systèmes de Nancy et de Caen dans la même semaine en novembre 2002, le directeur des transports terrestres a demandé par courrier du 27 novembre 2002 un **complément d'expertise spécifique sur le système de guidage afin de lever les incertitudes et de se prononcer sur la fiabilité industrielle et son niveau de sécurité.**

Le présent rapport clôture ces deux affaires qui n'en font qu'une (2002-0264-01 et 2002-0141-01).

## 2. Le contexte

La mise en service du système TVR (système de transport sur voie réservée) dont le véhicule a été conçu par Bombardier Transportation a été faite à Nancy dans des conditions difficiles. Commencée en décembre 2000 dans la précipitation, l'exploitation commerciale a révélé des lacunes sur l'ensemble du système (formation des conducteurs, défauts sur l'infrastructure) et un matériel encore peu fiable et nécessitant de nombreuses mises au point (guidage, alimentation électrique, compresseur, ordinateur de bord, freins, portes, perches...). Le nombre de véhicules disponibles pour l'exploitation était inférieur au niveau auquel le constructeur s'était contractuellement engagé. Deux ans après la première mise en service, la disponibilité du matériel s'est amélioré mais n'a pas encore atteint le niveau souhaitable. Il en résulte une exploitation dégradée (attente des usagers, irrégularité) et la mise en attente de la restructuration du réseau d'autobus qui devait accompagner la mise en service du tramway. Les actions de reconfiguration engagées permettent d'espérer un système normalement fiable en octobre 2003.

A la suite des incidents de mars 2001 au passage du mode guidé en mode routier, l'exploitation a été interrompue par le préfet de Meurthe-et-Moselle pour raison de sécurité. Après mise en place des corrections nécessaires sur le véhicule, l'exploitation a repris un an plus tard en mars 2002. La série des incidents continue comme la suite de ce rapport le dira.

En outre, un contentieux juridique est engagé auprès du tribunal administratif entre la Communauté Urbaine du Grand Nancy et Bombardier Transport, ce contentieux porte sur des montants importants au regard du contrat relatif à la fourniture des 25 véhicules livrés dans cette agglomération. La mission confiée au Conseil général des Ponts et Chaussées est étrangère à ce contentieux.

Pour faire face à la situation et malgré le contentieux judiciaire, Bombardier Transportation a affecté dans les ateliers de Nancy une équipe importante d'une trentaine de personnes pour effectuer les réparations, les modifications («retrofit» des véhicules). Ces prestations se font hors de tout contrat de maintenance. L'exploitant du système de transport de Nancy (bus, trolley, TVR), la CGFTE, filiale de Connex, ne prend en charge que progressivement la maintenance du matériel TVR. La prise en charge normale n'est pas envisagée avant juillet 2003.

La communauté urbaine du grand Nancy a réceptionné la voie de roulement, les rails et l'ensemble de l'infrastructure fixe, c'est directement à elle que revient l'entretien et le renouvellement de cette infrastructure.

A Caen, des difficultés semblables sont apparues dès la mise en service le 18 novembre 2002 (portes, aiguillage, fausse alarme, perte de guidage,...), elles ont aggravé dans les premiers mois les irrégularités dues au système d'exploitation.

Dans la même semaine de novembre 2002, quatre incidents mettant en cause la sécurité se sont produits, deux à Nancy et deux à Caen:

- le 16 novembre 2002 à Nancy, déguidage expliqué par la vitesse excessive du véhicule et un mauvais état du rail
- le 18 novembre 2002 à Nancy, déguidage à faible vitesse incomplètement expliqué à ce jour par un probable blocage du volant en sortie de virage
- le 21 novembre 2002 à Caen, déguidage à faible vitesse dans la boucle de retournement, mal expliqué à ce jour par un possible blocage du volant en sortie de virage
- le 22 novembre 2002 à Caen, éclatement d'un pneu à la station St Pierre

Ces quatre incidents ont laissé planer des doutes sur la validité du système et la presse s'en est fait l'écho. Par exemple, la revue Rail Transport dans son numéro du 18 décembre 2002 publiait un article sous le titre «Bombardier peut-il sauver le TVR ?».

C'est dans ce contexte qu'a été demandé le complément d'expertise sur le système de guidage.

### **3 - Déroulement de la mission**

Les auteurs de ce rapport se sont rendus à Nancy et à Caen, ils ont visité les installations, circulé dans le tramway en service commercial, participé aux réunions organisées par ou avec les DDE (respectivement 54 ou 14), rencontré séparément les différents acteurs du système TVR de chacune de ces agglomérations (annexe 3).

Bombardier Transportation a présenté une justification de la sûreté au guidage et complété ce document par un examen spécifique de la sécurité dans un rayon de 12 m, puisque beaucoup des déguidages se sont produits dans ou en sortie immédiate d'une courbe de rayon 12 m, à Nancy comme à Caen, les annexes 6, 7, et 8 montrent la page de garde de ces documents qui ne sont pas joints à ce rapport en raison de leur volume informatique excessif et de la confidentialité commerciale qui s'attache à leur contenu.

La RATP (département matériel roulant et contrôle général de sécurité) valide ces justifications (annexe 5).

Un contact a été établi avec le centre national de réception des véhicules à Monthléry ainsi qu'avec la DSCR pour examiner les problèmes relatifs au mode routier et qui sont mal résolus à ce jour (volant de direction maintenu actif en mode guidé, mauvaise visibilité par le conducteur).

Il a été demandé au CERTU de préparer et de rédiger un paragraphe de ce rapport qui se serait intitulé «quelles solutions de remplacement si le TVR devait être arrêté ?». Ce paragraphe a été rédigé mais n'a en définitive pas été inséré dans ce rapport afin d'éviter d'éventuelles interprétations pessimistes.

La direction des transports terrestres a demandé à l'INRETS d'apporter son concours à l'expertise du guidage. Une simulation dynamique a été envisagée, analogue peut-être à celle faite pour le Translohr de Clermont-Ferrand. Bombardier Transportation n'a pas jugé cette étude utile dans la mesure où une simulation dynamique a déjà été faite par l'Université Polytechnique de Mons, considérant aussi que les données dynamiques recueillies «in situ» sont plus convaincantes que les simulations théoriques. Cette question pourra être reprise si des objectifs concrets et clairs sont donnés à une telle étude.

## **4 - Le développement du système TVR**

Le TVR a été conçu bimodal :

- guidé : précision de trajectoire
- routier : souplesse d'exploitation et aptitude à circuler sur des pentes et rampes importantes

Il est aussi à double système de traction : électrique et diesel.

### **4.1. Historique en Belgique**

- des essais de faisabilité ont eu lieu sur le circuit d'Ursel à partir de 1980
- un prototype fut présenté à l'UITP lors du congrès de Bruxelles en 1985
- deux véhicules pré-industriels à plancher haut ont été construits en 1987 et essayés à Rochefort (Belgique) entre cette date et 1995, sur une voie d'essai de 3,2 Km. Le bruit, l'usure rapide du galet, les lacets du véhicule nécessitèrent des mises au point. Plusieurs profils de galet et de rail sont essayés.

Par la suite, les essais et les marchés commerciaux sont en France.

### **4.2. Historique en France**

Le caractère novateur des systèmes dits intermédiaires de transport en commun, sur pneus, a amené à organiser une expérimentation de plusieurs de ceux-ci -dont le TVR de Bombardier/ANF- sur le site propre du Trans Val-de-Marne, partiellement réaménagé à cet effet. Cette opération, conduite dans le cadre du PREDIT avec le soutien du conseil régional d'Ile de France, du Syndicat des Transports parisiens et de la RATP, le concours des industriels concernés et des autorités organisatrices intéressées par ces solutions bi-modes, visait en premier lieu à évaluer l'accueil par les usagers de ces véhicules innovants, leur fiabilité et les contraintes et coûts liés à l'exploitation et à la maintenance.

Le GIE constitué à cette occasion sous la présidence de la RATP, prévoyait un financement de 23,6 MF pour l'ensemble de l'expérimentation, y compris les différents coûts d'aménagement et changements de configuration du site dus aux spécificités des différents véhicules dont le test était prévu.

Sur la ligne en site propre du TVM entre Saint-Maur et Chevilly-Larue de 12,5 Kms, une portion d'1,5 Km a été équipée, dans un sens, d'un rail central permettant la circulation en mode guidé, avec traction électrique sous caténaire et retour du courant par le rail, du TVR. Sur le reste du parcours, le TVR circulait en mode routier avec une propulsion assurée par son moteur auxiliaire diesel-électrique.

Cette expérimentation a été menée de façon discontinue entre novembre 1997 et décembre 1999, durant une période de trois mois au total à raison de 6 aller-retour quotidiens, et en exploitation commerciale. Le TVR aurait parcouru 13 500 Kms avec des voyageurs (Certains documents font apparaître un parcours total de 30 000 km, peut être avec les marches à vide. La mission n'a pas pu élucider ce point).

Le bilan affiché de ces essais est bon :

- disponibilité des véhicules de 84%, soit un taux élevé pour un engin aussi innovant,
- consommations comparables à celles des véhicules mono modes dans chaque configuration,
- enquêtes de perception très positives pour voyageurs, riverains et personnels.

Cependant, des notes discordantes ont été relevées à commencer par l'accident du 15/12/99.

Celui-ci s'est produit environ 500 m après avoir repris le mode routier, au rond-point d'Espagne à Thiais dans une courbe en S où l'élément arrière du véhicule est venu heurter à droite de la voie réservée le mur qu'elle longe ; à cette occasion, une voyageuse a été légèrement blessée (bosse à la tête) et l'arrière du TVR endommagé.

Dans un premier temps, l'accident a été attribué à une crevaison du pneu arrière-droit (à noter d'ailleurs, qu'une fois le véhicule levé le 18/01/00, une usure anormale et particulièrement accentuée sur le 1/3 extérieur de chaque pneu de l'essieu arrière est apparue), après essai organisé par Bombardier le 7/02/00 sur le site de l'aérodrome de Valenciennes en simulant un incident de verrouillage des vérins entre chaque essieu en mode routier, il est apparu «qu'un déverrouillage du vérin de changement de mode/essieu 4 correspond le mieux au comportement du véhicule lors de l'accident» (rapport interne RATP du 9/02/00).

Il s'agirait donc là d'un précurseur aux deux accidents des 6 et 10 mars 2001 survenus à Nancy lors de la première mise en service, dans des conditions comparables après passage en mode routier où le verrouillage des vérins ne s'est pas effectué correctement. Ce type d'incident a été traité initialement en considérant que le conducteur vérifierait lui-même les indications de l'ordinateur de bord aux changements de mode ; ce qui s'est vite révélé insuffisant. On note que cette répétition, plus d'un an après le premier accident, dénonce une absence de prise en compte du retour d'expérience des essais sur le TVM.

Lors de ces derniers, d'autres problèmes ont été relevés par les services de la RATP tel que les traces d'usure sur le rail, qui ont nécessité son meulage (probablement dues à un phénomène d'électroérosion lié au retour de courant par le rail); elles auraient pu être la cause d'un bruit excessif dont certains riverains se sont plaints, alors que le «shimmy» apparu plus tard à Nancy n'était pas encore survenu.

Le bilan des formateurs, fait dès mars 1998, est aussi instructif car s'il affirme que le véhicule est «très agréable à conduire», il énumère les particularités et défauts suivants :

- perte de repères par les conducteurs du à la position excentrée du poste de conduite,
- difficulté à se rapprocher du trottoir en station, le manque de garde au sol faisant craindre les heurts de bas de caisse,
- manque de visibilité sur les cotés, les armoires électriques réduisant à 180° le champ de vision latérale qui est de 300° sur un matériel conventionnel,
- impossibilité de voir dans les deux rétroviseurs d'angle mort et difficulté d'usage du rétroviseur en cas de pluie,
- phénomène de «dos rond» extérieur en fin de virage court, «remarquons que ce véhicule n'est pas, en mode routier, absolument monotrace»,
- pas de serrage automatique des freins à l'arrêt, donc risque de dérive,
- lors d'une manipulation de robinet de secours porte, la traction est coupée si on ouvre les portes en grand mais les freins ne se serrent pas,
- manque de précision dans la direction à vitesse élevée, etc...

Même si certaines de ces remarques ne peuvent avoir de réponse satisfaisante compte tenu de leur lien avec l'architecture du véhicule, d'autres auraient pu connaître au moins un début de solution avant le début d'exploitation à Nancy, le délai de plus d'un an écoulé entre les deux périodes en cause le permettant probablement.

L'expérimentation en France a aussi comporté des essais sur le manège de fatigue du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Nantes afin d'appréhender et de mieux se prémunir du risque d'orniérage de la piste de roulement. L'essai a concerné à la fois le TVR, le Translohr et le CIVIS. On remarque que le TVR a été testé avec une roue chargée à 4 tonnes alors que ce véhicule, quand il est à pleine charge nominale, fait porter 5 tonnes par roue.

## 5 - Description comparée des systèmes de Nancy et de Caen

### 5.1. Comparaison technique

	<b>CAEN</b>	<b>NANCY</b>
Longueur de la ligne en exploitation commerciale	14,8 km	11 km
Nombre de véhicules	24 rames	25 rames
Coût initialement prévu	1 377 MF (condition économique avril 1999)	931 MF (condition économique 1998)
Longueur en mode guidé	100 %	60 %

Sur le plan physique une des différences essentielles est que le système de Caen fonctionne entièrement en mode guidé (le mode routier n'est utilisé que pour rejoindre le dépôt ou pour le quitter). A Nancy, au cours de son trajet commercial, le conducteur procède aux manœuvres successives suivantes :

1. «déguidage» (passage du mode guidé en mode routier)
2. «guidage» (passage inverse)
3. «déguidage» ( passage du mode guidé en mode routier)
4. «guidage» (passage inverse)

Le rail de guidage est identique dans les deux agglomérations, des différences existent néanmoins sur les joints de dilatation (à Nancy, où il y en a de nombreux, le constructeur Bombardier considère qu'ils ont pu contribuer à l'usure prématurée du galet, ils ont été modifiés en septembre 2002 et la même modification a été mise en œuvre à Caen par précaution). Il n'y a pas à Nancy d'appareil de changement de direction (aiguillage), en tout cas dans l'exploitation actuelle, il y en a sur la ligne de Caen où se fait la mise au point de cet appareil.

### 5.2. Comparaison institutionnelle

Les montages administratifs et contractuels sont radicalement différents à Nancy et à Caen.

A Nancy, l'autorité organisatrice, la communauté urbaine du grand Nancy, est maître d'ouvrage. Cette collectivité a lancé des appels d'offres de maîtrise d'œuvre, de travaux, et achat de matériel roulant, de délégation de service public pour l'exploitation, entretien de la plate-forme, contrôle sécurité du système. La CUGN gère les interfaces entre ses prestataires, elle gère aussi l'interface entre le système et le reste de la voirie.

A Caen, l'autorité organisatrice, syndicat mixte des transports en commun de l'agglomération caennaise (VIACITES), a confié à un concessionnaire la construction et la mise en service du système TVR. Sous la désignation STVR, Bombardier et la SPIE se sont associés pour assurer la responsabilité de concessionnaire. L'exploitation a été confiée par délégation de service public à TWISTO. Un contrat triangulaire relie STVR, VIACITES et TWISTO. STVR gère les interfaces internes au système. VIACITES gère les interfaces externes (notamment entre le système et le reste de la voirie) et fait appel à un prestataire pour le conseiller notamment sous l'angle de la sécurité.

### 5.3. Comparaison des calendriers de mise en service

NANCY		CAEN
– décembre 2000		
Mise en service commercial		
– 12 mars 2001	<b>2001</b>	
Suspension de l'exploitation par arrêté préfectoral		
– 7 mars 2002	<b>2002</b>	
Remise en service commercial		
		18 novembre 2002 mise en service commercial
	<b>2003</b>	

## 6. Les faiblesses de conception du véhicule liées au mode routier

Bien que certains des sujets évoqués ci-après soient déjà mentionnés dans d'autres parties du présent rapport, il convient de faire une brève synthèse des problèmes recensés dans une exploitation en mode routier.

### 6.1 Verrouillage des articulations

Le premier problème, et le plus important, est celui du «verrouillage» des trois éléments du véhicule en mode routier. En effet, afin de garder un caractère monotrace convenable lorsque les essieux ne sont plus guidés par les galets posés sur le rail central, le constructeur a prévu un système de vérins qui doivent se positionner automatiquement entre les caisses lors de la transition de guidé en routier pour garantir une rigidité suffisante de l'ensemble.

Lors des accidents ou incidents du 15/12/99 sur le TVM, puis des 6 et 10 mars 2001 à Nancy, l'élément arrière du TVR est parti en dérive, faute d'une mise en place correcte des vérins. L'indication correspondante sur l'ordinateur de bord n'a pas été perçue par les conducteurs. Depuis, une sécurité a été installée qui doit interdire le redémarrage du véhicule si la transition ne s'est pas correctement effectuée.

### 6.2 « Silent-blocks » des barres de traction

Cependant reste la question de l'usure rapide des « silent-blocks » des barres de traction due probablement aux efforts excessifs qu'ils ont supporté pendant les phases chantier ; ces pièces dont la fiabilité est alors essentielle doivent être surveillées fréquemment et changées dès que nécessaire. Ce problème est traité dans le cadre de la reconfiguration actuellement en cours (échéance octobre 2003).

### 6.3 Manque de visibilité

De fortes critiques ont été exprimées à propos de la visibilité dont disposent les conducteurs depuis le poste de conduite. Celle-ci, si elle est réglementairement acceptable au niveau de la réception de type du véhicule routier, n'est pas optimale pour une exploitation commerciale routière tant pour la visibilité latérale (180° seulement et rétroviseurs extérieurs dont seule la partie basse est utilisable) que pour celle vers l'avant qui est trop « limitée » pour que le conducteur puisse déceler la présence d'une personne de petite taille tout près du véhicule. Tous ces défauts de visibilité ont été dénoncés par le comité d'hygiène et sécurité de la CONNEX Nancy s'appuyant sur un rapport, précis et

détaillé sur ce point, du LATTIS (laboratoire, techniques, territoires et société) rattaché à l'école des ponts et chaussées.

#### **6.4 « Le volant tourne tout seul »**

En mode guidé, le volant de direction tourne «tout seul» devant le conducteur. Cette bizarrerie de caractère paradoxal n'était pas prévue à l'origine, initialement il était prévu que le volant serait débrayé en mode guidé. La procédure d'agrément en mode routier conduite par le centre national de réception des véhicules routiers (CNRV) a conduit à renoncer à ce débrayage jugé non conforme à l'article R316-7 du code de la route, car on a considéré que même en mode guidé le véhicule doit suivre toutes les prescriptions du code de la route. Cette décision est la conséquence logique de la séparation des responsabilités de l'Etat entre réception en mode guidé et réception en mode routier, l'une piloté par le STRMTG et l'autre par le CNRV. Le résultat n'est pas heureux puisque la présence devant le conducteur du volant actif et mobile en mode guidé est à l'origine de trois des huit pertes de guidage. Revenir sur cette disposition serait techniquement possible à Caen où le véhicule demeure en mode guidé de façon constante entre son entrée en ligne en début de service et sa sortie de ligne en fin de service, ce serait à beaucoup d'égard souhaitable. En revanche, on voit mal comment on pourrait revenir sur cette disposition à Nancy où l'on change quatre fois de mode dans un seul trajet aller et puis à nouveau quatre fois dans le trajet retour.

#### **6.5 L'usure de la bande de roulement des pneus**

On signale aussi l'usure rapide et asymétrique des bandes de roulement des pneus des essieux arrière, plus rapide en routier qu'en guidé ; ou le dispositif anti-affaissement des pneus qui n'est pas de la même marque que le pneu rendant plus difficile et plus onéreux les changements de pneus. L'usure anormale des pneus ne peut se résoudre seulement par des permutations ou changements fréquents, dont le coût sera vite prohibitif, mais doit conduire à la recherche de solutions durables par une coopération renforcée entre le constructeur du véhicule et le fournisseur des pneumatiques.

#### **6.6 Le freinage excessif**

A l'occasion de certains incidents ( irruption de cyclistes sur la voie réservée ou déguidages ) le freinage du TVR s'est avéré d'une efficacité confinant à la brutalité ; il en est parfois de même lors de l'arrêt final en station.

A cet égard, il convient de rappeler que le système de freinage de ce véhicule, comme celui de la plupart des bus, superpose un frein électrique ( rhéostatique ) et un frein pneumatique à assistance électrique, assistance nécessaire compte-tenu de la longueur du TVR. La pédale de frein actionne donc successivement les deux dispositifs, sauf en cas de freinage initié à moins de 10 km/h où le frein pneumatique est directement sollicité. Cette dernière caractéristique explique largement la brutalité de l'arrêt lorsque, après avoir par exemple ralenti sur son erre en vue d'une entrée en station, le freinage n'est utilisé qu'à moins de 10 km/h pour immobiliser le véhicule ; pour éviter cet effet, il suffit donc que le conducteur commence à freiner à plus de 10 km/h et maintienne une pression modérée sur la pédale de frein jusqu'à l'arrêt complet afin de profiter à plein de la progressivité du freinage électrique.

Par ailleurs, les essais faits sans l'assistance électrique au frein pneumatique montrent qu'alors les performances s'avèrent aux limites de l'acceptable par rapport aux normes requises de tels véhicules routiers.

L'efficacité du freinage d'un véhicule sur pneus, routier de surcroît, étant par essence nécessairement bien supérieure à celle d'un tramway sur rail, il apparaît difficile de remettre en cause un dispositif parfois trop performant pour un confort optimal des voyageurs ; par contre, un effort accru de formation des conducteurs permet une meilleure prise en compte des caractéristiques inhérentes au système de freinage concerné.



## **7 - Les difficultés rencontrées, l'accueil néanmoins favorable du public**

Pour que l'exploitation puisse se faire dans de bonnes conditions, il est nécessaire que le matériel soit fiable et disponible, ce qui n'a guère été le cas jusqu'à présent.

Il fallait s'attendre à ce que le matériel TVR, innovant à bien des égards, nécessite une période de mise au point. Déjà pour le matériel de type tramway classique, la mise en service s'accompagne toujours d'une période de rodage, considérée comme inévitable, de 6 à 9 mois. Selon les techniciens qui ont participé dans leur carrière à plusieurs mises en service de tramway, ce phénomène s'explique par le fait que les tramways ne sont jamais complètement identiques. D'un site à l'autre, le constructeur change tel ou tel sous-traitant et quelles que soient les précautions prises, tout changement d'un composant est générateur d'incident.

Il était prévisible qu'une certaine période serait nécessaire pour assurer sa fiabilisation. Cette période dure maintenant depuis 2 ans à Nancy et n'est pas encore achevée, les auteurs de ce rapport hésitent à imputer la longueur de cette période à la complexité du véhicule, ou à l'engagement tardif d'un effort suffisant des acteurs pour faire marcher le système. Il a semblé que, trop longtemps, les acteurs avaient eu tendance à se rejeter les responsabilités les uns sur les autres : Bombardier accusait la voie de ne pas être conforme et accusait l'exploitant de brutaliser le matériel. Les conducteurs accusaient tout le monde de défauts multiples du véhicule, la Communauté Urbaine accusait Bombardier de ne pas respecter ses engagements contractuels en ce qui concerne la fiabilité du matériel, etc...

A partir de juin 2002, La communauté urbaine du Grand Nancy et Bombardier se sont accordés pour affecter un responsable ayant une grande expérience des systèmes et de l'exploitation. Il en est résulté un plan d'action du 11 juillet 2002 intégrant les aspects voie, conduite, matériel, ainsi qu'un programme de reconfiguration du matériel, le tout sous le couvert de mesures conservatoires acceptées par la DDE. D'importantes campagnes de mesure ont été faites pour mieux connaître l'interface galet-rail-piste de roulement des pneus.

**Surmontant leurs difficultés mutuelles, les acteurs ont décidé d'agir positivement et de façon coordonnée, et d'y affecter les moyens en personnel nécessaires. Leur effort commence à porter ses fruits.**

A Caen, certaines difficultés, parfois de même nature, sont apparues. Parfois l'expérience de Nancy a pu être exploitée à temps, parfois elle ne l'a pas été comme par exemple pour les incidents de fermeture des portes qui ont perturbé les premiers jours d'exploitation commerciale à Nancy comme à Caen, Bombardier assure d'une amélioration prochaine de la disponibilité des véhicules et de leur fiabilité. Ces difficultés techniques sont à l'origine de retards et d'irrégularités du service. Evidemment, le public s'en plaint et la presse s'en fait l'écho parfois sur le ton de l'humour parfois sur le ton de l'agacement.

Malgré ces incidents, il apparaît que, **globalement, à Nancy comme à Caen, le public accueille favorablement ce tramway sur pneu.**

## **8 - Huit incidents mettant en cause la sécurité**

Depuis la remise en service de mars 2002, huit incidents ont été considérés comme indicateurs d'un défaut de sécurité : 7 pertes de guidage et 1 éclatement de pneu.

### 8.1. Pertes de guidage

L'expression perte de guidage est mieux adaptée aux incidents qui ont eu lieu que le mot «déraillement» que l'on applique aux tramways, en ce sens que si le TVR perd son rail de guidage, il reste stable sur ses roues à pneus et conserve toute sa capacité de freinage. Certains disent aussi qu'il garde son volant actif donc que le conducteur garderait une capacité de direction ; cette dernière affirmation est inexacte car la pression exercée par le galet empêche toute possibilité de diriger le véhicule.

**Une perte de guidage doit être considéré comme un événement majeur et à ce titre revêtir un caractère exceptionnel. Le TVR doit atteindre et conserver un niveau de sécurité comparable à celui des tramways fer.**

Or, selon la formule consacrée, «un tramway fer ne déraille pas». En principe, on ne relève pas de déraillements en cours d'exploitation commerciale ; certes, les fichiers d'incidents mentionnent des déraillements mais toujours après le heurt d'un véhicule (camion) ou sur les aiguilles en arrière gare et après la fin de l'exploitation commerciale par suite d'une erreur de manœuvre.

On recense les pertes de guidage suivantes qui ont toutes fait l'objet d'un examen attentif.

Nancy, 30 mai 2002	défaut technique du galet (absence d'une vis de pression devant assurer un serrage complémentaire de l'axe de chasse) et défaut du rail dans les virages en baï onnette proches de la gare de Nancy
Nancy, 1 <sup>er</sup> septembre 2002	collision avec un véhicule léger
Nancy, 2 octobre 2002	action du conducteur sur le volant, conséquence compréhensible de la volonté d'éviter un cycliste
Nancy, 16 novembre 2002	dans les virages en baï onnette proches de la gare, vitesse excessive et mauvais état du rail
Nancy, le 18 novembre 2002	dans les virages en baï onnette proches de la gare. Action sur le volant dans une succession d'évènements inexpliquée
Caen, le 21 novembre 2002	dans une boucle de retournement. Inexpliqué, peut-être une action malencontreuse sur le volant
Nancy, le 12 janvier 2003	Rupture des plots de suspension d'un galet dans les virages en baï onnette proches de la gare

### 8.2. Eclatement du pneu

La détérioration alarmante du flanc droit du pneu arrière droit (quatrième essieu) est apparue assez vite à Nancy. La cause de cette anomalie a été déterminée : le véhicule est déporté vers la droite par l'effet des pneus à carcasse radiale (phénomène identique à celui constaté dans les métros sur pneus), et par l'inclinaison de la plate-forme routière vers le quai. Le guidage de la troisième voiture (donc du quatrième essieu) est moins bon que ce qui était espéré au départ ; le guidage final en station se fait par frottement du flanc du pneu sur une barre en acier inoxydable (d'ailleurs non prévue dans la conception initiale des stations, ajoutée donc après les premiers essais). A Caen le phénomène est identique, le guide-pneu est une bordure béton dont les angles blessent les flancs du pneu. Or un pneu n'est en aucun cas conçu pour s'user par son flanc. Souvent l'armature du pneu est mise à

nu et visible dans des conditions telles que si un poids lourd ordinaire était surpris par la police avec des pneus dans un tel état, il serait verbalisé sur-le-champ et vraisemblablement immobilisé. Ce pneu gonflé à neuf bars est susceptible d'exploser en station donc à proximité immédiate des clients en attente sur le quai.

Cet événement redouté s'est produit, heureusement sans victime :

Caen le 22 novembre 2002                      Station St Pierre

\*  
\*     \*

Aucun des ces huit incidents n'a fait de victime. D'autres incidents notables, également sans victime, ont eu lieu et ont fait l'objet d'une enquête technique approfondie pour en déterminer les causes et prendre les mesures adéquates afin d'en éviter le renouvellement. Par exemple :

Nancy	défaillance de freinage	03.06.2002
Nancy	rupture d'une bande de roulement	13.06.2002
Nancy	rupture du galet	17.06.2002
Nancy	galet cassé	05.07.2002
Caen	insertion manquée du galet sur le rail sans déclenchement d'alarme	23.01.2003

Ces incidents ne sont cités que pour mémoire afin de ne pas alourdir ce rapport. Ils ont été analysés (sauf le dernier dont l'analyse n'est pas achevée au moment où ce rapport est rédigé) et les conclusions sont prises en compte et suivies par les autorités responsables sous le contrôle des services de l'Etat.

## **9 - Expertise sur le système de guidage**

L'examen des sept pertes de guidage constatés révèle les points suivants :

Un est causé par un défaut de fabrication du galet et le mauvais état du rail.  
 Un est causé par un défaut de maintenance du galet.  
 Un est la conséquence d'une collision avec un véhicule.  
 Trois sont causés (vraisemblablement) par une action sur le volant  
 Un est la conséquence d'une vitesse excessive en courbe et d'un mauvais état du rail.

\*  
\*     \*

Cinq sont localisés à proximité de faibles rayons (12 m ou 15m dans les virages en baï onnette près de la gare de Nancy, ou dans une des boucles de retournement à Caen).

Deux seulement sont localisés en dehors de ces zones.

### **9.1. Le galet**

L'attention des acteurs s'est d'abord concentrée sur le galet, Bombardier a donc dans un premier temps procédé aux modifications qui s'imposaient (modification de l'angle de chasse pour éviter le tremblement du galet, modification d'une pièce afin d'éviter le renouvellement de l'incident du 30 mai 2002, modification de la bande de roulement). On remarque que les ruptures de la bande de roulement semblent avoir cessé dès la mise en œuvre des mesures d'élimination des chocs causés par la voie.

Dans un deuxième temps, Bombardier a procédé à un examen global de la sécurité du galet (AMDEC) et vérifie le dispositif d'alarme qui coupe l'alimentation électrique si le galet n'est pas correctement en place sur le rail. Trop souvent l'alarme agit de façon intempestive.

L'ensemble de ces modifications est en cours de réalisation et le système de guidage en voie d'être stabilisé. Nous n'en avons pas encore aujourd'hui l'absolue certitude, l'incident du 12 janvier 2003 causé par la rupture d'un plot de suspension non changé en maintenance préventive, démontre que tout n'était pas encore en place. Formellement, les experts ou organismes qualifiés (au sens du décret à paraître sur la sécurité des transports guidés, en application de la loi du 3 janvier 2002) n'attestent pas encore de la fiabilité de ce galet.

### **9.2. Le rail**

Chacun peut comprendre que même si le galet est mécaniquement irréprochable, le système TVR n'est sûr que si le rail est adapté. En outre, la constatation que les pertes de guidage se localisent préférentiellement dans les courbes de faible rayon (12 m ou 15 m) justifie un examen attentif de la façon dont le guidage fonctionne dans de tels rayons. C'est aussi la constatation de l'usure rapide du rail et de l'orniérage de la piste de roulement qui rendent nécessaire un dispositif de contrôle et de corrections des anomalies.

La sécurité du système galet/rail est justifiée par Bombardier à partir des éléments antérieurement acquis, ainsi que des informations et des mesures récentes faites à Nancy et à Caen, notamment lors des enquêtes approfondies faites après les incidents mentionnés ci-dessous. Trois documents :

- Sécurité au déraillement du galet (20.12.2002)
- Géométrie voie. Développement depuis le 17 janvier 2003
- Maintenance de la géométrie du rail de guidage

ne sont annexés ici que par leur page de garde en raison des contraintes informatiques que représente ce document et en raison du fait qu'ils sont la propriété intellectuelle de Bombardier.

M. Yvon Noël du département du matériel roulant ferroviaire, et M. Guy Giorgi de l'unité maîtrise des risques système, l'un et l'autre désignés par la RATP, après examen de ces documents, valident le mode de raisonnement et les conclusions (annexe 5).

### 9.3. Le système

La sécurité n'est assurée que pour autant que la vitesse est strictement contrôlée. Or, elle ne l'était guère, les deux DDE de Meurthe-et-Moselle et du Calvados ont l'une et l'autre constaté des vitesses supérieures en divers points aux limites requises figurant au règlement spécifique d'exploitation et affichés sur place par panneaux visibles des conducteurs.

Le TVR, comme d'ailleurs tout tramway, doit respecter strictement les vitesses limitées. C'est particulièrement difficile à obtenir dans les courbes de faible rayon, on comprend en effet que le respect par le conducteur de la vitesse de 5 Km/h est contraignant. Le TVR n'est pas doté de boîte d'enregistrement des paramètres. Il est nécessaire qu'il le soit afin que le contrôle des vitesses puisse être assuré en permanence, ou par sondage, de manière préventive. La boîte noire à n'ouvrir qu'en cas d'incident ne convient pas.

## 10 - Moyens à mettre en œuvre pour assurer la sécurité du guidage

### 10.1. Le galet

Bombardier doit achever le programme des modifications apportées au galet, réduire la fréquence des alarmes injustifiées et faire valider par un expert ou organisme agréé la sécurité de cette pièce. A Caen où le retour de courant s'effectue par le rail, il convient de s'assurer de l'absence de corrosion électrique. Les règles de surveillance du galet qui avaient été décidées à titre conservatoire au mois de juillet 2002 (examen sur fosse toutes les 72 heures, détection acoustique en ligne par patrouilleurs) peuvent être réexaminées.

Les règles proposées aujourd'hui sont :

- examen sur fosse toutes les 7 jours,
- détection acoustique automatique en ligne, par sonomètre, de défauts éventuels.

### 10.2. Rail

- Les gestionnaires de l'infrastructure (STVR à Caen, CUGN à Nancy) doivent s'assurer que :

- L'effort de guidage reste limité, inférieur à 2KN. Un effort supérieur alerte sur un défaut, en principe du rail, le défaut doit alors être recherché et corrigé.

- Le coefficient de friction galet-rail doit être faible ce qui nécessite un graissage des flancs du rail, et une surface des flancs de rail lisse.

- La position verticale du rail par rapport aux pistes de roulement des pneus doit être correcte. Le dévers du rail doit être inférieur à 1° et la hauteur du rail doit être dans la fourchette  $\pm 10$  mm en courbe et + 10mm, - 20mm alignements <sup>1</sup>

- La largeur du rail doit être maintenue dans la tolérance + 0 mm, - 2mm.

---

<sup>1</sup> La hauteur du rail par rapport à la bande de roulement était prévue à la réception des travaux dans la fourchette + 3mm, - 10mm. En exploitation, notamment sous l'effet de l'orniérage prévisible des pistes de roulement, la hauteur réelle évoluera. Le règlement sécurité exploitation de Nancy spécifie une tolérance de + 30 mm, - 30 mm que Bombardier considère aujourd'hui inadéquate. L'incidence de la nouvelle spécification et la conclusion à en tirer sont à l'étude au moment où ce rapport est rédigé.

Pour cela, les gestionnaires d'infrastructure doivent en exploitation normale

- faire un graissage régulier du rail, surtout dans les courbes,
- procéder à une inspection visuelle régulière (15 jours) en surveillant notamment l'apparition de stries,
- mesurer mensuellement les efforts latéraux de guidage,
- mesurer mensuellement l'accélération verticale de la caisse pour surveiller la tenue suffisante de la bande de roulement des pneus,
- mesurer mensuellement la largeur du rail,

Mais, il est nécessaire au préalable de s'assurer que les tolérances géométriques sont bien respectées et de faire les corrections nécessaires. La remise aux tolérances de la position verticale du rail par rapport aux pistes de roulement pourra nécessiter une reprise partielle de celle-ci. La remise aux tolérances du dévers du rail pourra nécessiter un meulage de la surface supérieure du rail.

Les courbes de faible rayon, proches de la garde de Nancy nécessitent un examen particulier. La vérification faite par Bombardier de l'une des quatre courbes a montré que le rayon qui devrait être de 12 mètres est en réalité de 11 mètres et que les imperfections dans ce rayon (pliures) sont de plusieurs mm. Il est indispensable de corriger les imperfections de ce rayon, d'autant que la mesure de la force latérale exercée par le galet à cet endroit précis est supérieure aux 2 kN requis. Mais la sécurité ne pourra véritablement être garantie dans le temps que si cette courbe est redressée. La reprise de l'aménagement de la place de la République est d'ailleurs souhaitable à d'autres d'égards car avec des rayons plus grands on réglerait deux contraintes d'exploitation du tramway : l'interdiction de croisement et la vitesse très faible.

### **10.3. Interface voie matériel roulant**

Maintien du jeu entre galet et rail qui doit rester entre 1 mm et 6 mm (Tolérance sur le rail entre +0mm et -2mm. Tolérance sur le galet entre +0mm et +2mm)

### **10.4. Exploitation**

Contrôle de la vitesse dans les courbes, notamment celles de faible rayon, comme indiqué ci-dessus en 9.3. Trois dispositions sont actuellement à l'étude :

L'utilisation des systèmes d'aide à l'exploitation (SAE) permet de connaître et d'enregistrer la vitesse des véhicules sur des tronçons assez courts. La précision n'est pas excellente mais elle est peut être suffisante pour une action de prévention, sous réserve de validation.

Un dispositif d'enregistrement intégré à l'équipement de traction a été commandé à Nancy. Il enregistre la vitesse, la demande de traction, la demande de freinage, le signal  $v < 3\text{km/h}$ , sur les 108 secondes précédant un arrêt. C'est donc un système du type boîte noire à n'ouvrir qu'en cas d'incident.

L'étude d'un autre dispositif a été faite à la demande du STRMTG avec enregistrement continu permettant de visualiser simultanément toutes les données enregistrées, notamment la vitesse mais aussi l'action sur le volant. Les exigences de l'Etat sur ce dispositif doivent être les mêmes pour le TVR que pour les autres tramways de France.

## **11 - Moyens à mettre en œuvre pour éviter l'éclatement du pneu**

Le principe retenu est de faire en sorte que le contact entre le pneu et le guide-pneu ne puisse avoir lieu que dans des circonstances exceptionnelles (alors qu'il se faisait de façon courante). Pour cela, Bombardier doit légèrement décentrer vers la gauche le véhicule par rapport au rail (6 mm), ce qui n'engage pas le gabarit libre d'obstacle. La lacune nominale de quai qui était de 42 mm passera donc à 48 mm, ce qui demeure compatible avec la recommandation éditée par le COLITRAH, devenu depuis le COLIAC, pour l'accès des handicapés.

Les guides-pneus doivent être repositionnés de façon à laisser un jeu minimum de 10 mm entre pneu et guide-pneus. La conception physique des guides-pneus est laissée à l'initiative des responsables du génie civil.

## **12 - Les dispositions prises par les acteurs du système TVR**

Les mesures à mettre en œuvre pour assurer la sécurité (§ 10) sont connues des trois principaux acteurs du système TVR : Bombardier, CUGN, STVR.

Bombardier a en place dans les ateliers de maintenance de Nancy et de Caen un personnel important pour étudier et mettre en œuvre les mises au point à apporter au matériel, celles nécessaires pour assurer la fiabilité et la disponibilité du matériel, et celles nécessaires pour assurer la sécurité du guidage, permettant ainsi la reconfiguration du système.

CUGN a désigné après appel à la concurrence des prestataires pour faire :

- L'entretien courant, comprenant essentiellement les activités de fréquence hebdomadaires ou journalières, visant à maintenir la propreté du site et le graissage du rail
- L'inspection du rail et de la plate-forme, dont l'objet est d'assurer une surveillance générale de l'infrastructure et de l'identification des défauts les plus apparents
- Le diagnostic de l'infrastructure, dont l'objectif est de contrôler de façon chiffrée l'évolution de l'infrastructure par rapport aux conditions d'interface spécifiées par le constructeur et de comprendre les phénomènes qui l'affectent
- Les réparations courantes, suite logique des actions précédentes
- Les réparations exceptionnelles de l'infrastructure dues à la situation anormale engendrée d'une part par l'usure du rail, et d'autre part par les problèmes rencontrés sur le guide-roues

Le contrôle de la vitesse dans les courbes de faible rayon semble pouvoir se faire à partir des informations du système d'aide à l'exploitation. Il reste à mettre en place l'ensemble du dispositif de contrôle.

STVR a déclaré à son autorité organisatrice des transports son intention de traiter de manière durable le risque d'éclatement du pneu dans le sens indiqué par ce rapport.

Ce concessionnaire assure le graissage du rail deux fois par semaine et envisage d'adapter ce rythme pour mieux suivre les recommandations de Bombardier. La tolérance verticale de niveau entre le rail et la plate-forme a été vérifiée à l'achèvement des travaux. La vérification du dévers du rail reste à faire.

L'enregistrement des vitesses est à l'étude avec la perspective d'un appareil sur toutes les rames en octobre 2003, mais dans l'optique d'une boîte noire à n'ouvrir qu'en cas d'incident, ce qui n'est pas satisfaisant.

### **13 - Préparer les services de l'Etat à leur mission relative à la sécurité**

Il convient d'abord de dire que les services de l'Etat (DDE 14 et 54, et STRMTG) ont pris en charge la mission qui leur est donnée par le décret (futur) relatif à la sécurité des transports guidés pris en application de la loi du 3 janvier 2002.

L'étape des mises en service est passée.

L'étape des mises au point, objet du présent rapport, est bien engagée. Mais elle doit être suivie car elle est loin d'être achevée. Certaines décisions d'ailleurs restent encore à prendre. Cette étape devra être concrétisée dès que possible par la modification des règlements sécurité exploitation.

La phase d'exploitation régulière commencera, c'est alors que des risques apparaîtront si des moyens de surveillance et d'entretien (du rail, du galet et de la bande de roulement des pneus) ne sont pas suffisants. Les services de l'Etat devront s'assurer que les autorités organisatrices maintiennent un effort suffisant.

\*

\* \*

Le TVR vient de fournir un retour d'expérience sur les difficultés rencontrées lors de la mise en service d'un système innovant. La dualité des organismes chargés du contrôle, différents en mode routier et en mode guidé n'a pas été favorable. L'exemple du « volant qui tourne tout seul » signalé au paragraphe 6.4 montre qu'une décision prise pour le mode routier s'est traduite par une situation dangereuse en mode guidé, danger attesté par trois incidents significatifs. L'article 13-2 de la loi n°82-1153, telle que modifiée par la loi n°2003-3, est relatif aux systèmes de transport comportant des installations multimodales, il dispose qu'un décret en conseil d'Etat fixe les conditions d'application du présent article et notamment les catégories de systèmes auxquelles s'appliquent ces dispositions. La mise en œuvre de cette disposition permettra à l'avenir d'éviter qu'une innovation soit entravée pour des raisons purement réglementaires et non liées au niveau de sécurité du système.

En tout état de cause il ne faut pas accepter la mise en exploitation commerciale d'un système nouveau, surtout s'il prétend à la multi-modalité, sans véritable expérimentation en grandeur réelle, pendant une durée significative. A l'avenir, il conviendra de veiller à la transparence du retour d'expérience lors de la mise au point de tels systèmes, spécialement à l'égard des organismes certificateurs et des utilisateurs potentiels afin d'éviter les préconisations ou objectifs trop optimistes (vitesses d'exploitation peu réalistes, courbes trop exigües, nécessité de contrôle de l'action des conducteurs).

### **14. Conclusion**

Les difficultés rencontrées par le système TVR lors de ses mises en service ( sept pertes de guidage et un éclatement de pneu) ne remettent pas en cause la validité du système. Encore aujourd'hui de nouveaux incidents ne sont pas exclus. Le risque actuel peut être maîtrisé par des inspections régulières et les actions correctrices qui ont été définies et qui vont obliger les gestionnaires d'infrastructure, notamment la CUGN dans la courbe de rayon nominal 12 m proche de la gare de Nancy, **à des actions correctrices sur le rail.**



Le risque ultérieur proviendra principalement de l'usure du galet et du rail qui n'est aujourd'hui ni très bien connue ni très bien maîtrisée. Nous n'aurons d'information précise sur l'usure du rail que quand nous pourrons comparer les mesures de COGIFER faites à Nancy en octobre 2002 avec celles prévues pour mars 2003.

La dureté réciproque du rail et des pièces d'usure du galet ne semble pas avoir fait l'objet de l'optimisation souhaitable : les pièces d'usure du galet sont plus dures que le rail alors que le choix technique traditionnel du contact roue/rail se porte plutôt vers des duretés comparables de la roue et du rail, avec la roue un peu moins dure que le rail. Bombardier maintient qu'il s'agit, pour l'instant, du meilleur choix possible compte tenu de son expérience sur les petites roues et qu'il convient d'attendre les résultats de la reconfiguration actuellement en cours avant d'aborder une nouvelle étape de modification éventuelle. On remarque que la durée de vie des secteurs d'usure, qui était de 15 jours est maintenant de un mois, vraisemblablement l'usure du rail est réduite aussi.

**La maîtrise de ce phénomène d'usure et la mise en œuvre de moyens pour y pallier conditionne la sécurité du système.**

**La maîtrise de la vitesse dans les courbes, surtout les courbes de faible rayon (12 m) conditionne également la sécurité du système.**

## ANNEXE 1



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

La Défense, le 27 novembre 2002

ministère  
de l'Équipement  
des Transports,  
du Logement,  
du Tourisme  
et de la Mer



direction  
des Transports  
terrestres  
sous-direction  
des Transports  
collectifs

TC3

Le directeur des Transports terrestres

à

Monsieur Claude MARTINAND, vice-président du Conseil  
Général des Ponts et Chaussées

objet : mission d'expertise du CGPC sur le système de transport intermédiaire TVR (mission Desbazeille)

affaire suivie par : Jean-Pascal LESOT

téléphone : 01 40 81 16.60 télécopie : 01 40 81 16.40

mél : jean-pascal.lesot@equipement.gouv.fr

Par courrier du 4 juillet 2002, le secrétaire d'Etat aux Transports et à la Mer vous a confié une mission d'expertise sur la sécurité des systèmes de transport intermédiaire TVR de Nancy et de Caen. Cette demande faisait notamment suite aux déraillements et aux dysfonctionnements qui sont survenus après la remise en exploitation du système de Nancy.

Des investigations que vous avez déjà menées, je retiens que chacun des déraillements et des dysfonctionnements a fait l'objet d'analyses par les acteurs locaux. Ces analyses ont conduit à identifier certaines causes directes susceptibles de les expliquer, et des mesures provisoires ont été prises, destinées à la fois à prévenir et à limiter les conséquences de déraillements ou d'incidents survenant dans des conditions analogues.

Je retiens également que les causes profondes de ces déraillements et des anomalies touchant le système de guidage semblent encore mal appréhendées avec certitude (usure rapide et précoce des rails, dégradation rapide et réduction importante de la durée de vie des galets, etc). L'éclatement du pneu survenu le 22 novembre à Caen confirme par ailleurs que les craintes que vous avez pu exprimer étaient fondées.

Trois sorties du rail de guidage sont survenues depuis, respectivement le 16 et le 18 novembre à Nancy et le 21 novembre à Caen. L'une d'entre elles, celle survenue le 16 novembre, aurait pu entraîner des conséquences graves pour les usagers et les tiers. Cette répétition met en évidence, à mon sens, les incertitudes qui continuent de peser sur l'aptitude du système de guidage à remplir en sécurité sa fonction dans les conditions actuelles d'environnement. Elle nécessite de se réinterroger sur le niveau de sécurité réel du système.

Arche Sud  
92055 La Défense cedex  
téléphone :  
01 40 81 21 22  
mél :  
dt@equipement.gouv.fr

Pour ces raisons, et en préalable à la remise de votre rapport définitif, je souhaite que vous meniez un complément d'expertise spécifique sur le système de guidage afin de lever ces incertitudes et de se prononcer sur sa fiabilité industrielle et son niveau de sécurité.

Ce complément d'expertise devra permettre :

- de retracer l'historique de la mise au point de l'interface entre le rail et le véhicule, en se prononçant plus particulièrement sur les différents tests et démonstrations réalisées afin de garantir la fonctionnalité et la sécurité du système de guidage ;
- d'identifier clairement les phénomènes physiques (et en particulier les phénomènes dynamiques et les phénomènes d'usure) entrant en jeu dans l'interface rail / véhicule dans les différentes configurations du système et d'évaluer leur conséquence sur la sécurité du système de transport ;
- de définir précisément le « domaine d'utilisation » de ce système de guidage en énumérant les contraintes de toutes natures que doivent respecter notamment le rail, la plate forme, le véhicule, les conducteurs et les conditions d'exploitation afin de garantir la sécurité du guidage du véhicule ;
- de se prononcer sur la viabilité de l'interface rail-plate-forme / véhicule / conducteur ainsi que sur son aptitude à remplir en sécurité la fonction de guidage dans le « domaine d'utilisation » défini ci-avant. Vous pourrez, le cas échéant, identifier la nature des modifications (pouvant toucher l'infrastructure, le véhicule, l'exploitation, la maintenance, etc) susceptibles d'améliorer la fonctionnalité et la sécurité de cette interface, puis, sur cette base, de réévaluer le niveau de sécurité du système global, afin notamment de s'assurer qu'un déraillement aura une occurrence exceptionnelle.

Je souhaite également que ce complément d'expertise soit l'occasion d'approfondir les problèmes de freinage qui ont pu être mis en évidence et d'examiner les dispositions qui seront proposées pour supprimer les risques d'éclatement de pneus.

Afin de mener à bien les tâches d'expertises nécessitant une compétence et une technicité spécialisées, vous pourrez vous entourer des meilleurs experts au sein de la RATP, de la SNCF, de l'INRETS, et de tout autre organisme que vous jugeriez utile. Je vous précise d'ores et déjà que la présidence de la RATP m'a fait part de son accord de principe pour la mise à disposition de cinq de ses ingénieurs pour faciliter le déroulement de ces compléments d'expertise.

Je demande aux préfets concernés, que je rends destinataire du présent courrier, de procéder à l'information des Autorités Organisatrices des Transports et des exploitants sur ces compléments d'expertise.

Je souhaite pouvoir disposer de votre rapport final sur la sécurité du TVR, assorti de ces compléments d'expertise, sous un délai maximal de trois mois. Vous voudrez bien m'informer de toute difficulté que vous pourriez rencontrer dans le cadre de cette mission.

Mes services, y compris ceux du STRMTG, restent à votre disposition pour tout élément ou question complémentaire que vous jugeriez utiles.

*Pour le Ministre et par délégation  
Le Directeur des Transports Terrestres*

**Signé**

*Patrice RAULIN*

## ANNEXE 2

le secrétaire d'État aux Transports et à la Mer

4 juillet 2002

ministère  
de l'Équipement  
des Transports  
du Logement  
du Tourisme  
et de la Mer



**Le directeur de Cabinet**

à

Monsieur le vice-président du CGPC

**objet :** Mission d'expertise du Conseil général des Ponts et Chaussées

Le système TVR (Système de Transport sur Voie Réservée) est un système de transport intermédiaire entre le bus et le tramway qui présente à la fois les propriétés et les qualités d'un tramway en mode guidé et la souplesse d'exploitation d'un autobus articulé lorsqu'il se libère de son rail de guidage

Ce concept a été testé dès 1985, puis exploité à la fin des années 1980 à des fins touristiques sur une ligne pilote à Rochefort en Belgique. Plus récemment, de l'automne 1997 jusqu'à mi 1998, il a été expérimenté sous pilotage RATP sur le site du Trans Val-de-Marne sans difficulté particulière. Le Syndicat Mixte des Transports de la ville de Caen a été le premier en France à commander un TVR : la réalisation de la première ligne a été concédée en 1994. La mise en service est actuellement prévue à l'automne, pour un fonctionnement en mode guidé intégral (hors accès au dépôt).

Il a été ensuite commandé par la Communauté Urbaine du Grand Nancy : inauguré en décembre 2000, le système a été mis en service en février 2001 pendant environ six semaines, puis arrêté en raison des incidents observés. Il a été en effet constaté que l'opération de transition entre le mode guidé et le mode routier ne s'effectuait pas de manière satisfaisante puisque les bielles destinées à assurer une trajectoire monotrace du véhicule ne se sont pas correctement positionnées, sans que le conducteur ne voit l'alarme correspondante ou sans que celle-ci ne s'allume. Après plusieurs modifications et semaines de marche à blanc, le préfet a de nouveau autorisé l'exploitation en mars 2002.

Les contrôles de l'Etat ont d'abord été réalisés dans le cadre du Code de la Route : le véhicule choisi par le réseau de Caen a été homologué par la direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement de l'Ile de France en 1996 . Dans un second temps, l'ingénieur général Villé a estimé nécessaire qu'un

contrôle au titre des transports guidés soit réalisé : à la suite de la demande de la DTT de septembre 1999, la DDE a fait réaliser un audit de ce matériel, examiné par le SRTMTG, ce qui a conduit à l'autorisation de mise en service du véhicule début février 2001 .

Cependant, le jeudi 30 mai 2002, un nouvel incident s'est produit :un véhicule a en effet quitté son rail en effectuant un écart de sa trajectoire normale. Si cet incident n'a pas entraîné de dommages aux personnes, il présente toutefois un caractère de gravité certain. Le travail remarquable fourni par la DDE et le STRMTG à cette occasion a permis de déterminer une cause possible de l'incident (blocage du galet entraînant le déraillement), de reproduire sur un essai le déraillement d'un véhicule et d'autoriser la poursuite de l'exploitation en prenant un certain nombre de mesures conservatoires destinées à éviter sa répétition.

Les différents incidents observés ainsi que la multiplication des dysfonctionnements rencontrés depuis quelques mois nécessitent de faire un point sur la fiabilité et la sécurité de ce système de transport, et de prescrire éventuellement de nouvelles mesures d'exploitation, de maintenance et de contrôle aux entreprises et à la maîtrise d'ouvrage.

Ce souci de clarification qui est de plus partagé par l'industriel qui a fourni le matériel roulant, est une préoccupation commune des autorités de l'Etat dans le cadre de ses fonctions régaliennes de sécurité et de la Communauté Urbaine du Grand Nancy dans le cadre de ses responsabilités de maîtrise d'ouvrage et d'autorité organisatrice.

Aussi, je vous demanderai de désigner une mission d'expertise du Conseil général des Ponts et Chaussées, qui pourrait être dirigée par Monsieur Desbazeille, afin :

- a) de se prononcer sur la fiabilité et sur le niveau de sécurité actuel du système TVR,
- b) d'effectuer des recommandations sur la sécurité des systèmes de transport de Nancy et de Caen, ces recommandations pouvant porter sur le véhicule, sur l'infrastructure, sur l'exploitation, sur la maintenance et devront distinguer clairement les acteurs auxquelles elles s'adressent ;
- c) d'effectuer des recommandations plus générales sur l'organisation mise en place pour la construction, l'exploitation et la maintenance des systèmes de transports guidés, ainsi que pour les contrôles internes et externes.

Cette mission devra chercher à s'appuyer sur les meilleurs compétences disponibles actuellement dans les différents domaines précités que ce soit à la RATP, à la SNCF, à l'INRETS, et au LCPC. Elle pourra s'appuyer pour son travail sur les services de la sous-direction des transports collectifs de la direction des transports terrestres, sur le service technique des remontées mécaniques et de transports guidés, ainsi que sur la direction départementale de l'équipement de Meurthe et Moselle.

Elle rencontrera, de plus, dès sa mise en place, le préfet de Meurthe-et Moselle, la Communauté Urbaine du Grand Nancy, Bombardier Transport, SPIE DROUARD (qui a fourni et posé le rail et les appareils de voie aussi bien à Nancy qu'à Caen), et l'exploitant.

Je précise que trois missions d'expertise ont été confiées à MM Cynober et Bertrand par le Tribunal Administratif de Nancy sur demande de la Communauté Urbaine du Grand Nancy, relatives notamment aux conditions d'exécution de son marché par Bombardier, au suivi de la fiabilité du système pendant la marche à blanc et les trois premiers mois de mise en exploitation commerciale et l'analyse des bruits générés par la circulation des véhicules et des phénomènes d'usure prématurée du rail.

Il conviendra de tenir compte de ces procédures en cours pendant le déroulement de la mission et d'éviter toute interférence.

J'ajoute enfin, que les services locaux de l'inspection du travail dans les transports ont été amenés à suspendre le 24 juin l'exploitation d'un des véhicules TVR du réseau suite à la procédure engagée par le comité d'hygiène et de sécurité de l'entreprise exploitante.

Il me paraît particulièrement important que cette mission puisse effectuer un premier rapport sur la fiabilité et la sécurité du système à Nancy, dans les meilleurs délais. Vous examinerez également les incidences de ces constatations sur les conditions de la mise en service du système de Caen prévu d'ici à la fin de l'année 2002. Vous établirez un rapport pour fin novembre sur les conséquences que l'on peut tirer de ces deux expériences sur les conditions d'utilisation de ce matériel ainsi que sur l'organisation et le contenu des contrôles que doivent mener les services de l'Etat.

*Signé Jean-Claude JOUFFROY*

## ANNEXE 3

### Personnes rencontrées au cours de la Mission

#### ORGANISMES NATIONAUX OU ASSIMILES

- **DTT** (direction des Transports terrestres) P. LABIA (sous-directeur transports collectifs), J.P. LESOT
- **STRMTG** (service technique des Remontées mécaniques et Transports guidés) M. ARRAS
- **CNRV** (centre national de réception des véhicules) M. LEGEAY, M. DEVIGNE, S. RENARD
- **CERTU** (centre d'Etudes sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) F. RAMBAUD
- **RATP** Y. NOËL, G. GIORGI
- **MICHELIN** MM DELVERT, CHRETIEN, BERTHOU
- **DSCR** (direction de la Sécurité et de la Circulation routières) A. CHAZEAU, R. TISON
- **INRETS** G. COQUERY, J.B. AYASSE, H. CHOLLET

#### NANCY

- M. le préfet de la Meurthe et Moselle
- M. ROSSINOT : président de la communauté Urbaine du Grand Nancy
- **CUGN** (communauté Urbaine du Grand Nancy)  
MARCHAL (directeur général adjoint), D. PASTANT (ingénieur en chef)
- **SYSTRA** (maîtrise d'œuvre partielle) M. PIAU
- **BOMBARDIER TRANSPORTATION**  
J.M. LEKIEFFRE (directeur de projet), J. ROSSI (vice-président), S. BOUCHE (chef de Projet)
- **CGFTE** (exploitant, filiale de CONNEX) M. ROCHER (directeur), M. STAUB
- **CERTIFER** (organisme qualifié désigné par la CUGN) J.P. GOSNET, W. SCHÖN (évaluateur), J.P. PRONOST (président), F. PAQUIN (directeur général)
- **DDE 54** H. CORBEAU (directeur), D. LOUIS (directeur adjoint), R. LEHMANN, R. SPITSBARTH (chef de service), M. CLUZEL, M. STOCK
- **DRIRE** M. HAZOTTE
- MM. HEYD et THOUVENIN (conducteurs de TVR, délégués syndicaux)
- **LATTS** R. FOOT (expert désigné par le comité d'hygiène et sécurité de l'exploitant)



## CAEN

- M. le préfet du Calvados

- Mme MORIN-MOUCHOTTE, présidente de la VIACITE (syndicat mixte des transports en commun de l'agglomération caennaise), avec M.C. MADELAINE (directeur du projet) ainsi que M.J.L. LACENA (secrétaire général).

- **BOMBARDIER TRANSPORTATION** J.M. LEKIEFFRE (directeur du projet), J. ROSSI (vice-président)

- **TWISTO** (exploitant) J .F. GUEDEC (directeur), MM....., conducteurs, comité hygiène et sécurité de la société exploitante TWISTO.

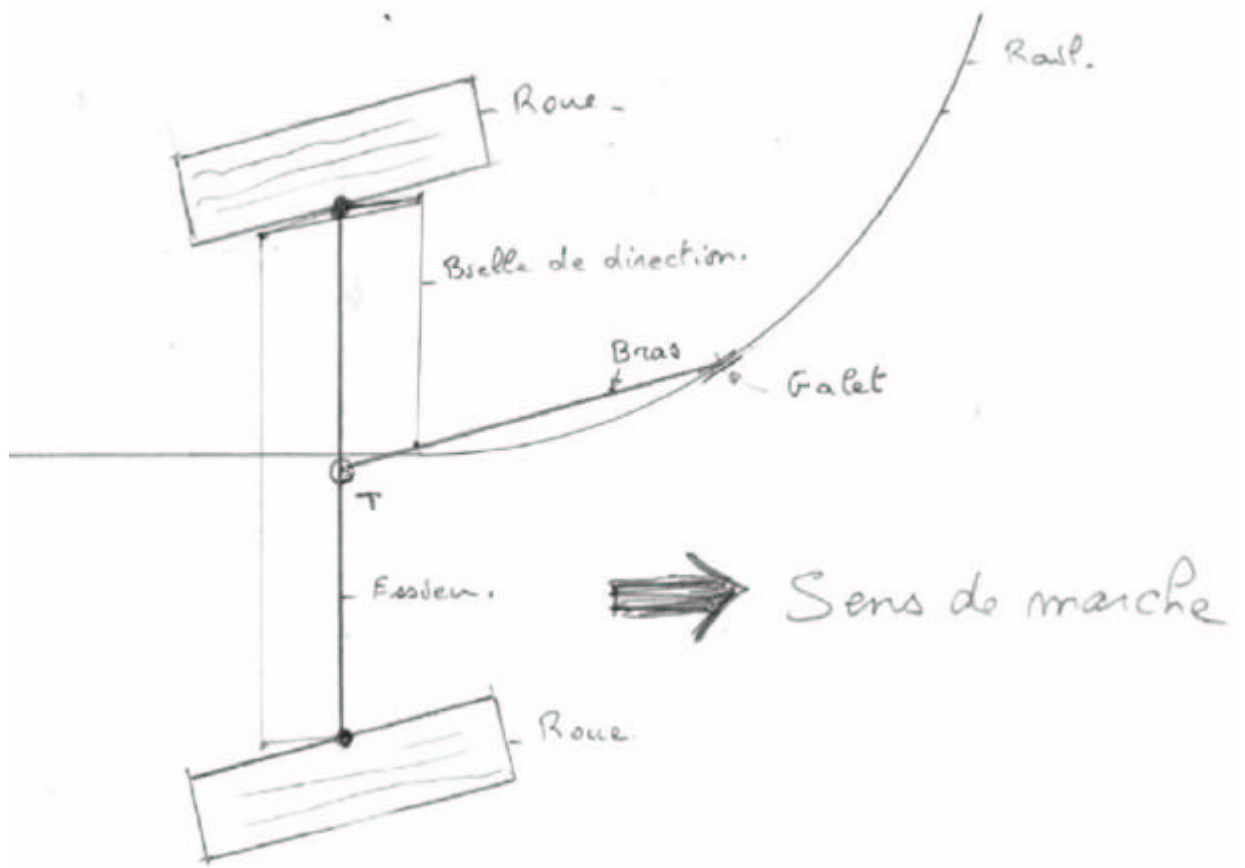
- **STVR** (concessionnaire de service public, groupement d'entreprise comportant notamment BOMBARDIER et SPIE)  
G. COHEN (directeur des opérations), B. DEVELTER (directeur des essais), G. ROBIN (directeur financier),  
M.P. BUENERD (directeur général), D. CHABIN

- **DDE 14** P. LELARGE (directeur jusqu'en février 2003), L. FAYEIN (directeur), Y. LERICHE (chef de service), Ph. PIGERON

**THALES** (prestataire de service pour VIACITES) Ph. GRISEZ

## ANNEXE 4

### Principe de guidage



(extrait d'un document « Bombardier »)



Département du Matériel Roulant Ferroviaire  
UDT ETUDES  
Rédigé par : Y. NOËL

## **Expertise sur la sécurité du système de guidage du Transport sur Voie Réservée des réseaux de Nancy et de Caen**

**(Extrait du document. Les paragraphes 3 et 4 contiennent des éléments techniques que  
Bombardier souhaite garder confidentiels).**

<p>Yvon NOËL</p>          <p>Expert, Responsable des Etudes Mécaniques Du Matériel Roulant</p>	<p>Guy GIORGI</p>          <p>Expert, Responsable d'Etudes à l'Unité Maîtrise des Risques Système</p>
--	---

# Sommaire

## 1. Présentation

## 2. Analyse générale du système

### 2.1. Système de guidage galet / rail

### 2.2. Système pneumatiques / pistes

## 3. Examen des présentations et documents explicatifs fournis

### 3.1. Sécurité au déraillement du galet (présentation du 17-01-2003)

### 3.2. Etapes du développement (présentation du 17-01-2003)

### 3.3. Guide-pneus (présentation du 17-01-2003)

### 3.4. Maintenance de géométrie du rail de guidage (document transmis le 30-01-2003)

### 3.5 Sécurité du passage en courbe de 12 m de rayon (réunion du 11-03-2003)

## 4. Evaluation de la sécurité de circulation

## 5. Conclusions

## **1. Présentation**

Suite à différents incidents concernant la circulation des véhicules du système de Transport sur Voie Réservée (TVR) des réseaux de Nancy et de Caen, le Directeur des Transports Terrestres a chargé M. Desbazeille, Ingénieur du Conseil Général des Ponts et Chaussées d'effectuer un complément d'expertise afin de lever les incertitudes et de se prononcer sur la fiabilité industrielle et le niveau de sécurité de ce système de transport.

Afin de mener à bien cette mission, M. Desbazeille a sollicité la Direction Générale de la RATP afin de mettre à disposition du Conseil Général des Ponts et Chaussées deux experts pour leurs compétences et leurs capacités d'expertise.

L'objectif de cette prestation a été fixé dans le courrier de M. Desbazeille du 26 décembre 2002 et consiste à valider la démonstration de la sûreté du guidage à la fois dans le mode de raisonnement et dans les conclusions, sachant qu'il appartient à Bombardier d'en apporter les preuves.

Les deux experts de la RATP ont donc, d'une part pris contact directement avec les industriels impliqués et d'autre part, apporté leurs expertises au cours des réunions communes avec le Conseil Général des Ponts et Chaussées et l'industriel intégrateur du matériel roulant, la société Bombardier Transport.

Cette expertise particulière comprend d'une part une analyse générale du système de guidage et d'autre part l'analyse des documents officiels présentés par la société Bombardier au cours des réunions plénières.

## **2. Analyse générale du système**

### **2.1. Système de guidage galet / rail**

Le TVR est un véhicule routier articulé à quatre essieux équipés de guidages débrayables. Le véhicule devient véhicule guidé dans les zones de voirie où est installé dans la chaussée un rail de guidage central.

Le principe de fonctionnement est le suivant. Chaque essieu routier comporte à l'avant et à l'arrière un cadre-timon à l'extrémité duquel est implanté un galet à gorge s'appuyant et roulant sur le rail central du système de guidage au sol.

Chaque galet est chargé par un système de ressorts pneumatique et mécanique qui crée un effort d'appui de l'ordre de 70 kN.

Le galet avant est directement lié à un parallélogramme de direction qui fait pivoter chacune des deux roues de l'essieu routier autour d'un axe sensiblement vertical, selon les principes classiques des essieux routiers directeurs.

Le galet arrière se déplace librement en transversal jusqu'à atteindre une butée qui le rend alors solidaire du parallélogramme de direction précédemment décrit.

Lors de son déplacement, le galet avant suit le rail. Lorsqu'une courbe est abordée, il fait pivoter les roues de l'essieu associé. Cet essieu suit alors une trajectoire qui après stabilisation est légèrement décalée vers l'extérieur de la courbe par rapport au rail de guidage. Les degrés de libertés du système sont conçus de façon à ce que les pneumatiques reprennent entièrement les efforts transversaux essieux / pistes de roulement. Le galet n'est donc pas soumis à ces efforts en conditions normales.

S'il y a perte d'adhérence ou encore si les efforts transversaux dépassent des valeurs limites, le déplacement transversal de l'essieu atteint une valeur limite préétablie qui rend le timon arrière et son galet solidaires du parallélogramme de direction. Dans cette situation exceptionnelle, les efforts transversaux essieux / pistes sont alors partiellement repris par les deux galets.

De ce fait, l'effort transversal de guidage entre galet et rail central ne dépend que de l'effort qu'il est nécessaire d'exercer pour maintenir le braquage des roues (effort de réaction au couple d'auto alignement des pneumatiques).

Cet effort croît avec l'angle de braquage (quasi-proportionnellement pour les angles usuels). Il croît également de façon quasi-proportionnelle avec la déformation transversale des pneumatiques, laquelle est également quasi-proportionnelle aux efforts transversaux repris par le pneumatique.

En première approximation, l'effort de guidage transversal entre galet et le rail est ainsi quasi-proportionnel aux efforts transversaux de contact pneu / piste. Dans le cas d'une courbe négociée à plat, cet effort est donc aussi quasi-proportionnel à la force centrifuge exercée par le véhicule sur la piste et donc au carré de la vitesse de passage en courbe.

La sollicitation transversale subie par les galets est donc à la fois dépendante de la vitesse de passage en courbe (proportionnalité approximative à son carré), et au rayon de la courbe (quasi-proportionnalité à la valeur de la courbure).

Par ailleurs, le contact entre un galet à gorge et un rail est totalement différent de celui entre une roue ferroviaire et un rail. Dans ce dernier cas, la forme des profils des roues et des rails, la liaison entre roues d'un même essieu créent un système qui a les caractéristiques suivantes :

- création d'un asservissement mécanique centrant l'essieu sur sa voie.
- création d'un mouvement oscillatoire autour de cette position d'équilibre appliquant les forces de contact sur une bande de roulement du rail et de la roue et répartissant ainsi les usures sur ces surfaces.
- guidage normalement assuré par les tables de roulement et exceptionnellement par les boudins.
- en cas de début de déraillement, système auto-stabilisant ramenant l'essieu dans la voie.

Dans le cas du galet à gorge, les formes et profils en contact ne créent aucun asservissement de position ni aucune répartition d'effort. Le galet ne peut que se coller contre le rail. De ce fait, le guidage s'effectue exclusivement par frottement du flanc de la gorge de galet sur le flanc du rail.

En cas de début de déraillement ou de début de déguidage, le système n'est pas auto-stable, et peut même se révéler divergent.

Il convient donc, plus encore qu'avec un système classique ferroviaire, de rester à l'écart des conditions limites de déraillement et donc de surveiller l'ensemble des paramètres pouvant y concourir.

### **2.2. Système pneumatiques / pistes de roulement**

L'analyse précédente montre que les efforts au galet dépendent des pneumatiques et qu'il est donc nécessaire d'en connaître les caractéristiques précises (couple d'auto-alignement, etc...) correspondant aux conditions précises d'utilisation (charge à la roue, en particulier).

Une bonne conception des trains roulants doit prendre en compte des paramètres variés, et en particulier, veiller à ce que les aires de contact des pneumatiques sur les pistes soient approximativement rectangulaires, de façon à ce que les pressions de contact soient homogènes et ce que les usures de la bande de roulement soient régulières et bien réparties. Ceci s'effectue en choisissant des caractéristiques optimales, notamment en matière d'angle de carrossage (donnée difficilement modifiable sans toucher la structure des véhicules) et d'angle de chasse.

Sur ce type de véhicule articulé et long (24,5 m), il convient également de tenir compte de l'angle de dérive naturelle des pneumatiques de l'ordre de 15° d'angle. Celle-ci, du fait de la poussée dite de « ply-streer », a tendance à faire progresser le véhicule en crabe, décalant à droite, de proche en proche, les essieux par rapport à l'axe de la chaussée.

En particulier, lors des phases d'approche des quais et en station, ce phénomène influe inévitablement sur la valeur de la lacune entre bord de quai et bord du seuil du véhicule. Il faut donc être vigilant pour gérer cette zone en respectant les différents aspects.

En particulier, si un guidage complémentaire des pneumatiques est décidé, il est proscrit d'admettre une quelconque interférence répétitive entre le flanc des pneumatiques et d'éventuels obstacles latéraux. Le flanc des pneumatiques est en effet une partie intégrante de la carcasse radiale des pneumatiques eux-mêmes et ne comporte aucune couche d'usure. Seule la bande de roulement est apte au contact entre le pneumatique et son environnement, à condition d'en surveiller régulièrement l'usure.

### 3. Examen des présentations et documents explicatifs fournis

### 4. Evaluation de la sécurité de circulation

### 5. Conclusions

Les différentes analyses et propositions de Bombardier permettront après leur mise en place et leur contrôle d'efficacité de *se garantir contre les deux risques rencontrés* sur les lignes exploitées avec les véhicules TVR :

- risque de déguidage.
- risque d'éclatement des pneumatiques.

Il s'agit en particulier de :

- la *surveillance régulière* visuelle de l'état du rail et de sa géométrie.
- l'application d'un *graissage adapté*, en particulier en courbe de faible rayon.
- les *mesures d'efforts de guidage en ligne* afin de valider les opérations de remise à niveau effectuées.
- le *positionnement amélioré des guide-pneus*.
- le *réglage des trains roulants* et leur contrôle afin de garantir un jeu minimal entre flancs des pneumatiques et guide-pneus.

*Ces mesures ne pourront toutefois corriger à elles seules d'autres problèmes* n'impliquant pas directement la sécurité de circulation :

- usures des galets et surtout des flancs de rail
- usures dissymétriques des pneumatiques.
- difficultés de montage et de démontage des pneumatiques.

De même, si cette analyse permet d'atteindre les bons objectifs en matière de maîtrise du risque de déraillement, il faut la compléter **en garantissant** entre autres par une maintenance rigoureuse, *l'absence d'avaries mécaniques ou électriques ultérieures* qui, en provoquant des désolidarisations, casses ou déformations inacceptables des systèmes de guidage, pourraient conduire à d'autres incidents, de déguidage en particulier.

# Guidage du GLT (TVR)

## **Sécurité au déraillement du galet**



# Tram sur Pneu (GLT)

## Maintenance de la géométrie du rail de guidage

(Page de présentation du document Bombardier)

# Tram sur Pneu (GLT)

Géométrie voie  
Développements depuis le 17-1-03

(Page de présentation du document Bombardier)

11-3-03

Secrétariat général  
Bureau  
Rapports  
et Documentation  
TOUR PASCAL B  
92055 LA DÉFENSE CÉDEX  
Tél. : 01 40 81 68 12/ 45