



## 3284 Gestion de l'innovation technologique Les leçons de la mise en service du TVR/GLT à Nancy et Caen

Philippe Ventéjol, Délégué du Directeur, Département du Développement et de l'Action territoriale, RATP, France  
Laurent Dauby, Division Manager, Département Progammes et Etudes, UITP, Belgique

*Les incidents qui ont entouré la mise en service commercial du système guidé sur pneus TVR/GLT en France ont conduit l'Etat à commanditer auprès du Conseil général des Ponts et Chaussées, organisme du Ministère français de l'Équipement chargé de l'inspection générale de l'équipement et de l'environnement, un rapport d'expertise sur la sécurité de ce système novateur. Au-delà des péripéties liées à l'homologation et la mise en service de ce matériel spécifique, se pose la question de la gestion, de l'encadrement, de la mise en œuvre et de la validation de l'innovation technologique. Cet article a pour objet de présenter les conclusions et recommandations de ce rapport relatives au système TVR/GLT, mais aussi de replacer cette étude dans un cadre plus général du processus d'industrialisation de nouveaux produits et des prérequis à leur commercialisation.*

**L**e TVR/GLT (Transport sur Voie Réservee/ Guided Light Transit) est un système dit intermédiaire qui présente à la fois les caractéristiques et les propriétés d'un tramway en mode guidé (trajectoire précise et monotrace, réduction de l'emprise au sol) et d'un bus bi-articulé en mode routier (souplesse d'exploitation, capacité de franchissement de dénivelé) lorsqu'il se libère de son rail de guidage. Le véhicule TVR est fabriqué par le groupe Bombardier, mais sa conception initiale et

les essais pré-industriels remontent au milieu des années 1980, avant la reprise de la société BN par le groupe canadien. Dès le milieu des années 1990, le concept, largement couvert par la presse spécialisée, suscite un tel intérêt que les villes de Caen et de Nancy en envisagent l'achat afin de se doter d'un TCSP à moindre coût que le tramway classique. Parallèlement, un Groupe d'Intérêt Economique (GIE) est créé afin d'expérimenter différents produits de cette nouvelle filière de transport (TVR,

Translohr, Civis..) sur le site du TransVal de Marne (Paris)<sup>1</sup>. Plus de 13000 km sont effectués en exploitation commerciale entre 1997 et 1999. Le taux de disponibilité (84%) est très satisfaisant eu égard au caractère innovant du matériel, également plébiscité par les usagers. En décembre 2000, le TVR est mis en service à Nancy (une ligne de 11 km, dont 60% en mode guidé), de manière sans doute prémature, cette date répondant à des impératifs de calendrier électoral. En novembre 2002, le TVR est mis en service à Caen (une ligne de 14,8 km entièrement en mode guidé).

#### Caractère innovant

Le caractère novateur du matériel réside dans sa bimodalité. Celle-ci porte tant sur la direction du véhicule (asservie par un rail central enfoui dans la chaussée en mode guidé / asservie par le chauffeur via le volant en mode routier) que sur sa propulsion (électrique unique ou bifilaire / diesel-électrique). Le TVR est donc un véhicule bi-articulé à quatre essieux sur pneus qui peut être guidé dans les sections de voirie équipées d'un rail central. Le guidage est assuré par quatre "boggies" (un par essieu) ; à l'extrémité de ces "boggies", un galet à gorge s'appuie (70 kN) et roule sur le rail central à profil spécifique. Le galet est directement lié à un parallélogramme de direction qui asservit les roues des essieux respectifs du TVR. En mode routier, le dispositif de guidage est débrayé ("dédroppé"), ce qui entraîne la désolidarisation des galets et du rail. Le TVR est dirigé par l'action du chauffeur sur le volant, un dispositif de verrouillage des trois caisses assurant une trajectoire monotrace du TRV. En mode guidé, le volant de conduite "tourne tout seul", la législation française interdisant le débrayage de ce dernier et de la colonne de direction.

Le TVR peut circuler en mode électrique, puisant son énergie d'une ligne aérienne soit de type trolleybus comme à Nancy, soit de type tramway comme à Caen, avec retour de courant par le rail de guidage. En absen-

ce de système d'alimentation électrique (dépôt, mais aussi en ligne), un groupe moteur diesel/génératrice embarqué fournit l'énergie de traction au TVR.

En outre, Nancy a choisi d'ajouter à cette innovation du matériel un concept d'exploitation lui aussi novateur. Il s'agit de faire se succéder, en cours de ligne et en continu, des tronçons exploités en mode guidé et en mode manuel, électriques et diesel. Ce mode opératoire nécessite huit "droppages" et "dédroppages" des galets de guidage par parcours. Les difficultés d'exploitation diverses s'ajoutant donc aux habituels aléas du déverminage des nouveaux produits.

#### Problèmes de mise en service

Suite à divers incidents (absence de verrouillage des articulations entre caisses entraînant la dérive de la caisse arrière) survenant lors du passage en mode routier au cours du premier trimestre d'exploitation, le Préfet du département a décidé, en mars 2001 de suspendre l'exploitation du système de Nancy afin de procéder aux corrections nécessaires à la sécurité d'exploitation. Un an plus tard, l'exploitation a repris... ainsi que les incidents.

En moins de six mois (30 mai-22 novembre 2002), 7 pertes de guidage et un éclatement de pneu ont poussé le ministère des Transports à commander une étude d'expertise au Conseil général des Ponts et Chaussées (CGPC). Le mandat est triple (i) se prononcer sur la fiabilité industrielle et sur le niveau de sécurité du TVR/GLT et du système de guidage en particulier, (ii) faire des recommandations *ad hoc* pour les systèmes de Nancy et de Caen et (iii) réfléchir à la mise en place de tels systèmes de transport innovants. Le rapport a été publié en avril 2003.

Entre-temps, trois nouvelles pertes de guidage et un éclatement de pneu sont survenus (janvier-septembre 2003).

#### Rapport d'expertise<sup>2</sup>

Le rapport commence par constater la prise en compte défaillante du retour d'expé-

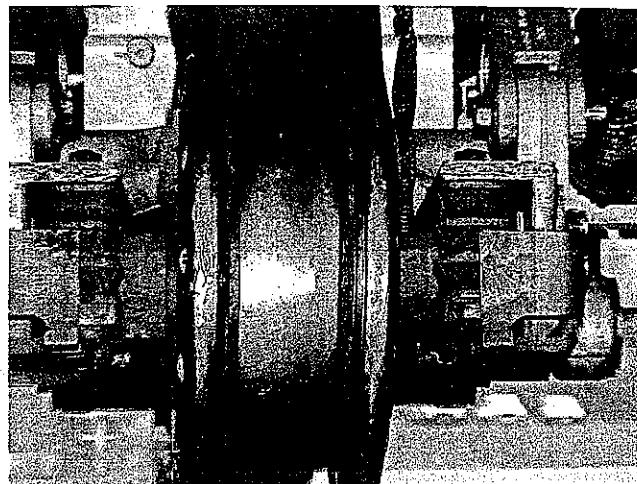


Photo: Philippe Vendefol

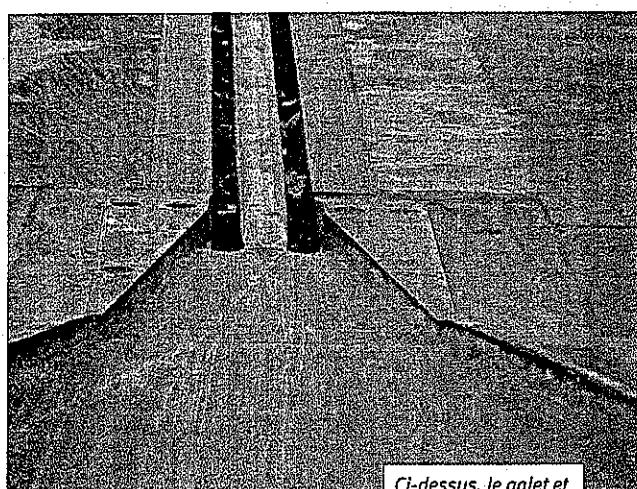


Photo: Philippe Vendefol

Ci-dessus, le galet et ci-dessous le rail central à profil spécifique

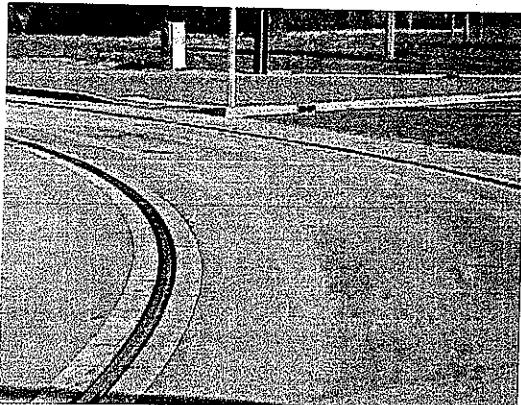
rience des difficultés rencontrées sur le site du TransVal de Marne. En effet, même si aucun incident semblable à ceux de Caen et Nancy n'a été déploré, et en dépit de la satisfaction générale vis-à-vis de cet engin, les experts de la RATP avaient identifié une série de faiblesses et défauts, en particulier sur le fonctionnement des vérins inter-caisse. Aucune modification ni mesure correctrice n'a été envisagée. Or, ce dispositif est en cause dans l'incident à l'origine de la suspension de l'autorisation d'exploiter. Ce problème semble désormais résolu.

#### Expertise du système de guidage

Le rapport note que toute perte de guidage doit être considérée comme un événement majeur et revêtir un caractère exceptionnel. Le TVR doit atteindre et conserver un niveau de sécurité comparable à celui du tramway classique.

L'analyse de sept pertes de guidage révèle que :

# EXPÉRIENCE



Le rapport d'expertise a révélé que la perte de guidage serait due, notamment, à une vitesse excessive en courbe

- trois sont dues à une action du chauffeur sur le volant,
- une à un défaut de fabrication du galet, associé à un rail en mauvais état,
- une à un défaut de maintenance du galet,
- une à la vitesse excessive en courbe, associé à un rail en mauvais état,
- une à une collision avec un tiers.

En outre, cinq pertes de guidage ont eu lieu à proximité de courbes de faible rayon (<15 m). Si l'on exclut le facteur exogène (collision), on relève que la moitié des pertes de guidages paraissent imputable à une action intempestive du conducteur sur le volant. Les réponses relèvent donc à court terme de la formation et du contrôle des conducteurs, et à plus long terme de modifications du matériel aujourd'hui interdite par la réglementation des véhicules routiers.

Le galet a fait l'objet de modifications et est en voie de stabilisation par le constructeur. Sa sécurité devra ensuite faire l'objet d'une attestation formelle par un organisme agréé, qualifié et neutre. Désormais, la maintenance devrait prévoir un examen hebdomadaire sur fosse et la détection acoustique automatique en ligne de défauts éventuels.

Le rail, dont la dureté est moindre que celle des galets a également été passé au crible. Outre les difficultés en courbes serrées, les examens ont également révélé une usure rapide du rail. Le rapport souligne que la dureté réciproque du rail et des plâces d'usure du galet ne semble pas avoir fait l'objet de l'optimi-

sation souhaitable. Toutefois, l'expertise du constructeur conclut à la sécurité du contact rail/galet ; et la RATP de valider le mode de raisonnement du constructeur. Après la réalisation d'une série de mesures correctrices (mise à neuf des sections endommagées, reprise des courbes les plus courtes etc.), un programme accru de maintenance devra être mis en œuvre par le gestionnaire de l'infrastructure afin de s'assurer d'un coefficient de friction rail/galet minimum (graissage) et du respect strict de plusieurs tolérances (largeur du rail, dévers, jeu galet/rail etc.) dont la sévérité a par ailleurs été renforcée.

La sécurité du système exige enfin le strict respect des vitesses de consignes figurant au règlement d'exploitation et affichées sur le parcours. Le TVR devra être équipé d'un dispositif d'enregistrement de la vitesse de type «boîte noire», en attendant la disponibilité de systèmes plus sophistiqués d'enregistrement des données.

## Expertise du système pneumatique

La détérioration du flanc des pneus ayant entraîné les éclatements de Caen est due au frottement du pneu contre les guides pneu en béton mis en place en station. L'armature du pneu est donc mise à mal à un endroit sensible. A Nancy, un phénomène identique mais moins accentué a été constaté les guide-pneu étant moins agressifs (tubes d'acier inoxydable). Le CGPC demande que le rail de guidage soit légèrement éloigné du quai en station, l'augmentation de la lacune entre le quai et le véhicule (48mm au lieu de 42, restant acceptable en terme d'accessibilité pour fauteuils roulants).

## Vers la fin du tunnel ?

Outre ces deux volets de l'expertise technique, le rapport regrette une certaine «impréparation» des acteurs sur le terrain dans la gestion des difficultés inhérentes au caractère novateur du TVR. Les auteurs hésitent en effet à imputer la prolongation de la phase de rodage à la complexité du TVR ou à l'engagement tardif des

acteurs à déployer tous les moyens nécessaires à la bonne marche du système. Longtemps, les intervenants se sont rejeté la responsabilité des problèmes : le constructeur accusant la voie de ne pas être conforme et l'exploitant de brutaliser le matériel ; le maître d'ouvrage reprochant au constructeur le non-respect des engagements contractuels de fiabilité ; l'exploitant incriminant le maître d'ouvrage et le constructeur de la mise à disposition d'un matériel inapproprié. Ce n'est qu'au prix d'efforts et d'actions collectives et coordonnées, impliquant du personnel en suffisance, qu'ils sont parvenus à progresser vers une résolution des difficultés techniques.

Bombardier a affecté un personnel important dans les ateliers de Nancy et Caen afin de procéder aux mises au point nécessaires pour assurer la fiabilité et la disponibilité des TVR. La Communauté urbaine de Nancy a désigné un prestataire de service chargé des tâches de maintenance des voies.

Les exploitants vont renforcer leur programme de formation, renforcer les consignes de sécurité et s'assurer de leur respect. Ils veilleront aussi à exécuter le programme de maintenance plus exigeant du système de guidage.

Le surcoût d'entretien du matériel roulant et de l'infrastructure doit être perçu, non pas comme un échec de la filière, mais plutôt comme un nouvel élément de connaissance du coût de cycle de vie de ce genre de matériel, largement inconnu jusqu'à présent. Un groupe de travail du Comité des Métros légers avait d'ailleurs souligné la nécessité d'affiner les connaissances en la matière.

## Conclusions

Le TVR vient de fournir un retour d'expérience sur les difficultés de sa mise en service, et plus généralement sur les risques technologiques et industriels liés à l'innovation. Si l'on rend les trois volets du mandat, les conclusions sont les suivantes :

- Fiabilité industrielle et niveau de sécurité du TVR/GLT : la vali-

dité du système de guidage est confirmée moyennant un contrôle rigoureux et suivi sur toute la durée de l'exploitation de l'ensemble des éléments galet/rail/interface. S'en suivent des recommandations à l'attention des réseaux, et entrant donc dans le cadre du deuxième volet du mandat.

- Recommandations ad hoc pour l'exploitation des systèmes de Nancy et de Caen : Celles-ci portent sur le matériel roulant, l'infrastructure, l'exploitation et la maintenance :

- Optimisation du système de guidage,
- Correction et entretien du rail de guidage,
- Strict respect des tolérances d'usure et de la qualité du contact rail/galet,
- Reprise des courbes de trop faible rayon,
- Strict respect des consignes d'exploitation et particulièrement des vitesses en courbe, et équipement des rames d'enregistreur de paramètre d'exploitation,
- Programme de veille et de maintenance des galets de guidages.

Ces recommandations s'adressent donc aux différents intervenants (autorité organisatrice, constructeur et exploitant) et impliquent des dépenses d'entretien supplémentaires, sous-évaluées à l'origine.

Recommandations générales : le rapport dénonce le caractère préjudiciable de la double homologation du TVR en mode routier et guidé, et préconise d'éviter à l'avenir qu'une innovation technologique soit entraînée pour des raisons purement réglementaires non liées à la sécurité. Il rappelle également et utilement qu'aucune mise en service commercial de système innovant ne doit s'envisager avant une véritable expérimentation en grandeur réelle pendant une durée significative. Tout retour d'expérience doit nourrir les efforts de mise au point et permettre une évaluation réaliste des performances et du coût de tels systèmes (vitesse commerciale, comportement en courbe, maintenance, contraintes de formation etc.). Enfin, en France, un nouveau



Nancy, France

Photo: Philippe Ventifex

décret sur la démonstration de sécurité des transports publics guidés impose que le maître d'ouvrage établisse trois dossiers de sécurité successifs : au stade de la décision d'investissement, avant le début des travaux et avant la mise en service. Ces contrôles seront effectués par des organismes agréés et indépendants qui appliqueront le principe GAMé (globalement au moins équivalent à une situation de référence maîtrisée). Ce dispositif sera appliqué à tous les nouveaux projets de TCSP, et notamment pour les systèmes intermédiaires. Il devrait en tout cas éviter que se reproduise le malheureux scénario nancéen.

Les péripéties du TVR sont donc révélatrices de la difficulté de gérer l'innovation de manière adéquate. C'est là l'intérêt de la démarche de tirer profit des déboires de deux réseaux afin de rappeler quelques principes de base en matière de démonstration de matériel innovants et contribuer à mettre en place un environnement réglementaire et technique plus propice à l'innovation, dont notre secteur, comme aucun autre d'ailleurs ne peut pas faire l'économie. Tous les professionnels savent que la mise en service de systèmes de transport, même éprouvés comme le tramway, est infiniment plus complexe et

délicate que les slogans "clés sur porte" le laissent parfois entendre. A fortiori, un système innovant devra faire l'objet d'une préparation et d'une attention redoublée. Il n'est pas étonnant qu'un système fortement innovant comme le TVR doive faire l'objet de mise au point et de corrections. Il est par contre dommage que ces mises au point se fassent après la mise en service commerciale. A l'heure où de nombreuses innovations sont annoncées (Translohr, Phileas, pile à combustible etc.), gageons que ces leçons seront retenues...

#### Notes

<sup>1</sup> Les résultats du volet TVR/GLT ont fait l'objet d'une présentation à la conférence Métros légers de l'UITP à Zurich en 1998. Le système de Nancy a lui fait l'objet d'une présentation à la conférence Métros légers de l'UITP à Nantes en 2002. Disponibles sur demande à l'UITP.

<sup>2</sup> Ce rapport est public et peut être obtenu à sur le site du ministère français de l'Équipement : <http://www.equipement.gouv.fr/reports/>, voir Expertise sur la sécurité des systèmes de guidages du transport sur voie réservée, Nancy et Caen, Conseil général des Ponts et Chaussées, rapport n°2002-0264-01, avril 2003