

N° 006782-01

juillet 2010

Mission de diagnostic et de prospective sur les réseaux de transports urbains de Caen et Nancy

Rapport définitif

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

**Présent
pour
l'avenir**



**CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE**

Rapport n° 006782-01

Mission de diagnostic et de prospective
sur les réseaux de transports urbains
de Caen et Nancy

Rapport définitif

établi par

Christian BOURGET,
Ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts

et

Patrick LABIA,
Inspecteur général de l'administration
du développement durable

Juillet 2010

Résumé

Le Secrétaire d'État chargé des Transports a demandé au Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable de diligenter une mission d'assistance et de conseil auprès des agglomérations de Nancy et de Caen à propos de leur réseau de transport en site propre équipé du matériel guidé sur pneu TVR (transport sur voie réservée) et des perspectives de développement de leur réseau à moyen terme.

La première partie du rapport rappelle les éléments de contexte et de politique industrielle qui avaient milité au milieu des années 1990 pour le déploiement de systèmes innovants de transport dits intermédiaires entre l'offre de matériel roulant bus et les systèmes de tramway fer dont le déploiement a été engagé progressivement sur les réseaux de province à partir de 1985. L'État a été fortement impliqué dans la mise au point de ces nouveaux matériels intermédiaires, à travers des crédits de recherche développement, une commande passée au Syndicat des Transports Parisiens pour définir le cahier des charges d'un nouveau matériel de tramway sur pneu et en chargeant la RATP de piloter une expérimentation de ces nouveaux produits (CIVIS, TRANSLOHR et TVR) sur une section du TransVal de Marne.

Ces efforts n'ont pas vraiment atteint les résultats escomptés puisque à l'exception de la commande passée par Clermont-Ferrand et celles (deux) passées plus récemment par le STIF et la RATP pour le Translohr de Lohr, celles de Nancy et Caen pour le matériel TVR de Bombardier, et enfin la mise en œuvre du Civis (bus à guidage optique) sur une ligne du réseau de Rouen, les agglomérations se sont engagées soit sur les systèmes de tramway fer soit sur le mode Bus à Haut Niveau de Service.

Il est certain que les difficultés rencontrées par le TVR lors de sa mise en service, notamment à Nancy, et qui avaient justifié une première mission du CGPC en 2003, n'ont pas plaidé pour la généralisation du tramway à pneus, le Translohr pâtissant des déboires du TVR.

Dans les parties suivantes du rapport, les conséquences sont tirées de l'avis, joint en annexe du rapport, du Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés. Celui-ci a procédé à une analyse approfondie du retour d'expérience en matière de sécurité du TVR : il en est ressorti que, sous réserve de maintenances curative et préventive constantes et adaptées, la sécurité du TVR ne sortait des risques afférents à un matériel innovant et qu'un scénario de retrait à court terme pour des raisons de sécurité n'était pas à retenir ni à préconiser.

Après présentation de leurs conclusions d'étape aux responsables des deux agglomérations, les auteurs du rapport ont estimé qu'un objectif de maintien en service du TVR pour une période d'au moins 10 ans devait être recherché sur les deux réseaux, moyennant la réalisation à court terme d'un programme complet de modernisation et de rétrofit du matériel roulant pour en améliorer la pérennité et la disponibilité.

A la demande de la mission, le constructeur du TVR, Bombardier, a élaboré un programme complet de modernisation de ces matériels pour un coût global de 740 000 euros par véhicule. En raison de la très forte implication passée de l'État pour la mise en service de ces matériels sur les deux réseaux de Caen et Nancy (plus de 60 millions d'euros de subventions pour les deux réseaux), les rédacteurs du rapport ont jugé légitime et nécessaire une nouvelle intervention financière de l'État pour participer à ces travaux de modernisation, selon les mêmes logiques qui avaient prévalu déjà à Nancy en 2003 suite aux préconisations du rapport du CGPC ainsi qu'en 2004 pour la remise à niveau du funiculaire POMA 2000 à Laon.

En plafonnant la dépense subventionnable à 500 000 euros par véhicule et avec un taux de subvention de 30 %, la charge financière de l'État serait de 7.5 millions d'euros pour les 50 rames, à financer sur deux ou trois exercices.

Le rapport contient enfin une série de recommandations pour les deux agglomérations pour leur choix futurs d'investissements relatifs à l'extension de leurs réseaux, qui devraient faire appel le moment venu à un changement de mode, soit de type Translohr après modification du rail de guidage existant soit de type BHNS ou trolleybus.

Table des matières

— Résumé.....	3
— Table des Matières.....	5
I. Préambule.....	7
II. Éléments d'analyse communs aux deux réseaux.....	9
Caractéristiques des deux réseaux (cf. annexe 5).....	9
Rappels sur le transport intermédiaire.....	10
Le rôle de l'État dans l'émergence du transport intermédiaire.....	13
La sécurité du TVR au titre des transports guidés et de l'homologation routière.....	14
La maintenance des rames TVR et les grandes révisions.....	15
Durée de vie à prendre en compte pour le matériel TVR.....	19
A ces termes respectifs, un retrait des matériels TVR devra être envisagé.....	20
III. Éléments d'analyse spécifiques au réseau de Caen.....	23
Principales données relatives au réseau.....	23
Montage juridique.....	23
Évolution du réseau.....	23
IV. Éléments d'analyse spécifiques au réseau de Nancy.....	27
Principales données relatives au réseau.....	27
Données relatives au fonctionnement du TVR.....	27
Montage juridique.....	27
Évolution du réseau.....	28
V. Avis de synthèse.....	29
VI. Préconisations.....	31
— Annexes	
Annexe 1: Lettre de mission.....	37
Annexe 2: Lettre d'extension de mission.....	39
Annexe 3: Liste des personnes rencontrées.....	41
Annexe 4: Synthèse critique des événements TVR (Nancy et Caen) par le SRMTG	43
Annexe 5 : Principales données relatives aux réseaux TCU de Nancy et Caen.....	51
Annexe 6 : Synthèses des procédures de sécurité évoquées	53
Annexe 7 : Quelques données sur les coûts des transports guidés.....	55
Annexe 8 : Modernisation des tramways Bombardier sur pneus (TVR) à Caen et Nancy.....	57
Annexe 9 : Coûts comparés des systèmes tramways par Lohr.....	61
Annexe 10 : « Lhorisation » des lignes 1 de tramways de Nancy et Caen.....	63

I. Préambule

Le présent rapport se rattache à la lettre de mission adressée le 6 avril 2009 (cf. annexe 1) par M. le Secrétaire d'État chargé des transports à M. le Vice-président du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable. Elle indique notamment :

« ... je vous demande de bien vouloir réaliser une mission ayant pour objet, au vu notamment du retour d'expérience de la première ligne de tramway, d'assister la communauté urbaine (de Nancy) dans la définition des critères techniques et d'exploitation, notamment en terme de technologies envisageables, à prendre en compte pour élaborer une stratégie de développement du réseau...»

Cette commande a été étendue à l'agglomération caennaise par une lettre de mission complémentaire du 19 octobre 2009 (cf. annexe 2).

Les deux agglomérations de Nancy et Caen mettent en œuvre toutes deux un TCSP doté d'un tramway sur pneu bi-mode (guidé, routier) de type TVR (Transport sur Voie Réservée) dont le constructeur est la firme Bombardier. La mise au point de ce matériel innovant a été initialement préoccupante au regard de la sécurité (perte de guidage) et sa fiabilité reste globalement décevante. Il s'en suit une disponibilité médiocre et des coûts de maintenance élevés.

Par ailleurs ce matériel roulant n'a été vendu qu'à 50 exemplaires, pour ces deux seules agglomérations, et sa production est arrêtée. Il n'y a de ce fait aucun effet de série possible ni sur les méthodes de maintenance, ni sur les pièces détachées, ni sur les améliorations éventuelles, ni sur la construction de rames supplémentaires.

Enfin le caractère « propriétaire » du guidage ne permet pas l'utilisation conjointe de matériel d'un autre constructeur.

Ce rapport définitif fait suite au rapport intermédiaire présenté le 11 mars 2010. Il intègre les éléments fournis par Bombardier sur le coût de rames supplémentaires ainsi que sur celui d'une modernisation préconisée par la firme à l'occasion des grandes révisions prévues dans le cadre des contrats de Caen. Cette modernisation large inclut un rétrofit¹ permettant d'améliorer la disponibilité du matériel.

Il tient également compte d'une part des préconisations de SYSTRA sur les scénarios envisageables pour l'évolution du réseau de Caen et d'autre part des résultats de la consultation lancée par l'AOTU de Nancy pour le renouvellement de sa délégation de service public.

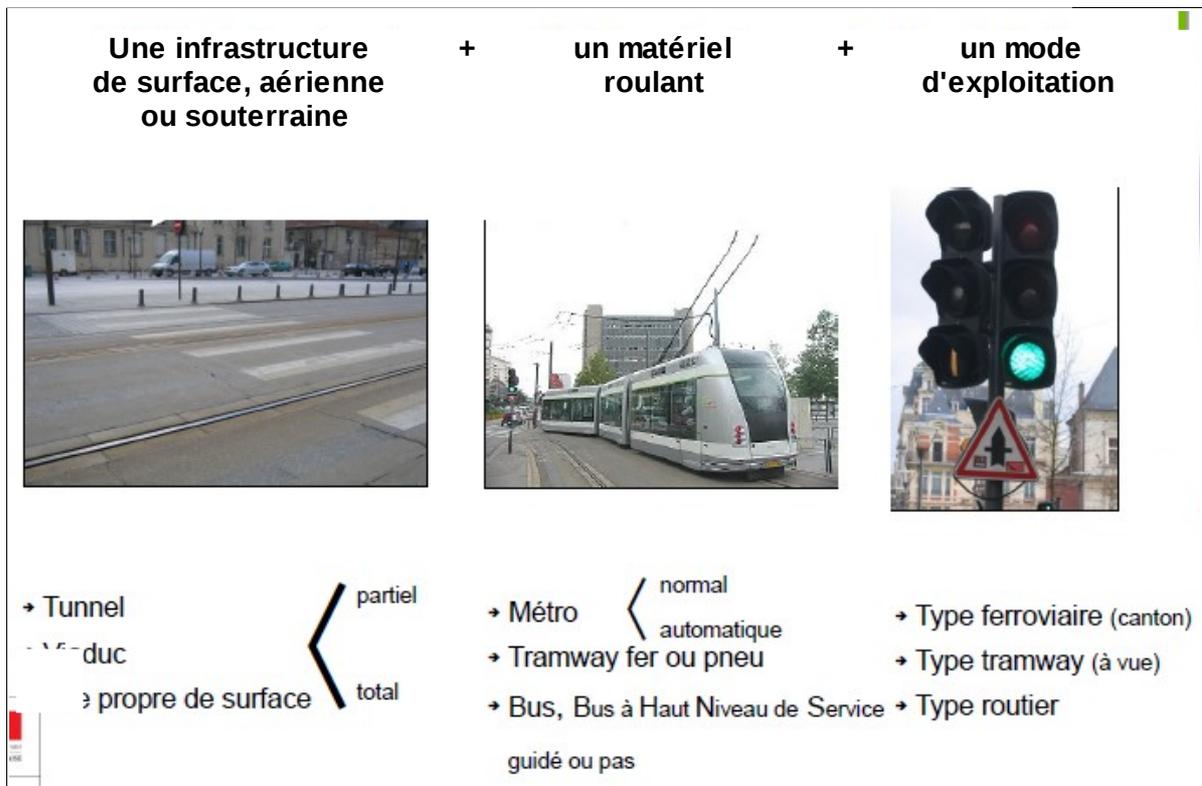
A l'heure où les missionnaires remettent leur rapport, l'AOTU de Nancy n'a pas définitivement tranché sur la réponse à donner à cette consultation : déclarer infructueux et relancer une consultation ou poursuivre avec l'unique société ayant remis une offre. Quant à la réalisation de la ligne 2, elle interviendrait plus progressivement que prévu initialement.

La mission n'a pas pris parti sur les aspects contentieux de la situation, qui pour certains perdurent et pour d'autres sont susceptibles de renaitre à Caen comme à Nancy. Elle ne s'est pas prononcée sur le devenir des montages concessifs retenus par l'agglomération d Caen pour le réseau actuel.

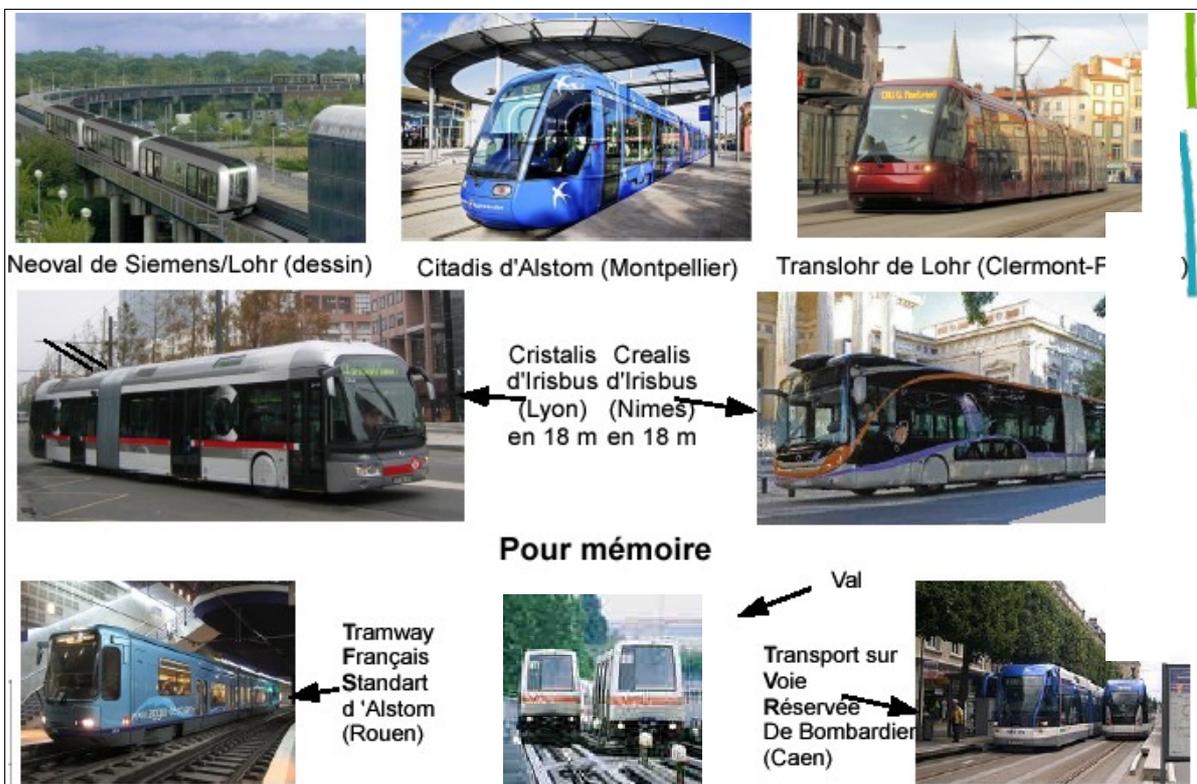
Elle s'inscrit dans la continuité de « l'expertise sur la sécurité du système de guidage du transport sur voie réservée de Nancy et Caen » remis par MM. Desbazeille, Koenig et Bonduelle en mars 2003 (rapport CGPC 2002- 0264-01).

1 Mise à niveau technique d'un parc de matériel.

Qu'est ce qu'un Transport en Commun en Site Propre ?



Les matériels pour TCSP en compétition en France (constructeurs français)



II. Éléments d'analyse communs aux deux réseaux

Caractéristiques des deux réseaux (cf. annexe 6)

Leurs points communs portent notamment sur :

- l'insertion dans des ensembles urbains de même ordre, cibles du transport intermédiaire (cf. plus loin) : une commune centre d'environ 100 000 habitants et 20 km² de superficie, une intercommunalité d'environ 250 000 habitants et de 150 km² de superficie, une aire urbaine d'environ 400 000 habitants et de 1 500 km² de superficie,
- un TCSP comme arête structurante du réseau,
- des réseaux TCU avec une fréquentation totale de l'ordre de 25 millions de voyages/an dont 10 millions pour le TCSP,
- un matériel roulant du TCSP issu d'une base commune TVR Bombardier (notamment en matière de guidage, articulations, caisses) mis en service approximativement à la même époque,
- un contentieux important dans le passé, dans les deux agglomérations, le matériel TVR n'ayant pas atteint à la mise en service les performances contractuelles tant en disponibilité qu'en coût de maintenance. Un même expert est intervenu de part et d'autre sur les heures de maintenance nécessaires : M. Henri Frey, ancien directeur général du réseau de Lille, qui possède une expérience professionnelle certaine en matière de mise en service de matériel innovant de transport (VAL, Magaly, SK, Poma de Laon...),
- une attractivité réelle du TCSP auprès du public en dépit des pannes anormalement nombreuses,
- un besoin identifié dans les deux agglomérations d'une ligne forte sécante à la ligne 1.

Mais il faut souligner :

- des différences dans la conception du TCSP : le TCSP de Caen a été conçu comme un TCSP de type tramway², le TCSP de Nancy³ a été conçu comme un TCSP de type trolleybus⁴. Cela s'est traduit à Nancy par des interstations plus courtes, 40 % du parcours commercial en mode routier hors site propre, un tracé plus sinueux dans certaines parties, une plateforme initiale avec plus d'enrobés que de béton...
- des véhicules qui reflètent cette différence de conception initiale même s'ils ont une base commune⁵ : à Nancy, l'alimentation électrique est de type trolleybus alors qu'à Caen l'alimentation est de type tramway,
- un cadre institutionnel, juridique et financier très différent : i) à Nancy, l'AOTU est la Communauté urbaine de Nancy, à Caen l'AOTU est le Syndicat Mixte⁶ des Transports en Commun de l'Agglomération Caennaise⁷ dont le périmètre recouvre celui de la Communauté d'agglomération de Caen la mer, ii) à Nancy un montage juridique classique : investissements relatifs au TCSP réalisés en direct par la Communauté urbaine et exploitation déléguée à un délégataire (par périodes d'environ 5 ans), à Caen un montage mêlant investissement et exploitation à travers d'une part une concession de travaux publics (30 ans) et d'autre part une concession de service public (30 ans)

2 Chaque véhicule et pour chaque service vient du dépôt en mode routier, passe en mode guidé, fait le nombre d'aller et retour nécessaire puis sort du mode guidé et passe en mode routier pour rentrer au dépôt soit une prise guidage/sortie de guidage par service.

3 A Nancy, le TVR a succédé sur une partie de son tracé à des trolleybus dont Nancy a été une ville pionnière..

4 Les prises et sorties de service se passent comme à Caen mais en outre chaque véhicule passe 2 fois par trajet du mode guidé au mode routier et donc de l'ordre d'une dizaine de fois par service (selon le nombre de trajets).

5 A noter que, dans les deux cas, les rames sont dotées d'un groupe électrogène leur permettant de circuler de manière autonome.

6 Auquel participe financièrement le Conseil général.

7 Dit encore Viacités.

articulées par une convention tripartite, iii) à Nancy, une situation financière tendue alors qu'à Caen le produit du Versement Transport (VT) couvre de façon satisfaisante l'essentiel des charges d'exploitation et des redevances aux concessionnaires, iv) à noter une conséquence notable des différences de montage juridique, à Caen les rames appartiennent au concessionnaire STVR et à Nancy à l'AOTU,

Rappels sur le transport intermédiaire

Le TVR (Bombardier) comme le Translohr (Lohr), les deux tramways sur pneu existant, sont issus des réflexions sur le transport intermédiaire menées par les acteurs du TCU dans les années 80 : STP devenu STIF, AOTU dont SYTRAL et SMTC de Clermont-Ferrand, État dont Direction des Transports Terrestres et INRETS, exploitants dont la RATP et Via-GTI devenu Keolis, constructeurs dont Renault VI devenu Iveco Irisbus, ANF-Industries racheté puis intégré dans Bombardier, Matra racheté par Siemens Transportation System ...

Il était beaucoup attendu (et promis) du tramway sur pneus ainsi que le résume le tableau ci-après qui montre également que les promesses ont parfois été déçues en particulier pour le TVR.

Les promesses du tramway sur pneus

Avantages attendus		Constatés	Commentaires
Avantages liés à la liaison pneu / sol	Rayon giration, sinuosité accélération / freinage, pente, vibration, bruit	Oui avec une limite dans la sinuosité (TVR)	Dépend des problèmes d'insertion
Bimodalité - mode TG - mode routier	Argument mis en avant initialement	TVR : oui Translohr : non	- rail dans circulation poss - vitesse comm
Possibilité de ne pas dévier les réseaux	Du fait de la possibilité de passer en mode routier si travaux	Réseaux systématiquement dévies (aussi BHNS)	En partie du fait du changt de financement des déviations
Coût d'investissement 1. matériel roulant 2. infrastructure (dépôt + plateforme) 3. système global	1. technologies routières 2. dépôt plus simple + plateforme moins lourde 3. → 1+2	1. non faibles série + double motorisation (TVR) + guidage 2. oui 3. oui → 2 uniquement	1. et 2. progrès encore possible pour Translohr 3. notion difficile
Coûts d'exploitation	Technologies routières et non fer /fer (rail, roue)	Non car pas d'effet parc + complexité (TVR)	Coûts d'exploit. Translohr en baisse ?

A cette époque, le choix du matériel d'un TCSP de surface portait sur des anciennes générations et l'offre ainsi que la concurrence étaient limitées. Le choix était entre : i) un tramway sur rail de type Alstom TFS⁸, mise en service à Nantes, Grenoble, Rouen respectivement en 1985, 1987 et 1994, cher (17 MF la rame pour le TFS au début des années 1990), ii) des autobus qui restaient polluants, n'étaient pas encore à plancher bas et aménagés à l'intérieur de manière moderne, ni dotés de dispositifs d'assistance à l'exploitation et à l'information des voyageurs, le coût d'un bus articulé de 18 m étant de l'ordre de 1,5 MF dans les années 1990. Les agglomérations de taille moyenne qui souhaitaient un TCSP n'étaient pas satisfaites de cette situation.

Le hiatus entre tramway sur rail et autobus s'est ensuite restreint par :

- l'apparition du Citadis⁹ d'Alstom dont plus de 1200 rames ont été vendues, et qui en 35 m (largeur 2,4 m) modèle 302 a été négocié en 2009 autour de 2 M € / unité pour une série de 50 rames, Brest

8 TFS = Tramway Français Standard.

9 La première mise en service du Citadis s'est faite à Montpellier à mi-2000

et Dijon ayant opportunément fait une consultation groupée,

- l'apparition de concurrents à Alstom en France alors que parallèlement Citadis se vend à l'étranger (Alger, Rotterdam, Brasilia...) : Bombardier Flexity à Marseille, mais aussi Siemens Avanto (tram-train de Bondy/Aulnay et Mulhouse), Stadler (tramway périurbain RhôneExpress à Lyon) et CAF à Besançon.

- une amélioration du design et des performances des tramways sur rail, plancher bas, chaîne de traction, bogies, freinage, aménagements intérieurs et confort.

- la montée en gamme des bus (plancher bas, aménagements intérieurs, motorisation moins polluante, moindre consommation, hybridation, bi-articulation), l'apparition de produits ciblés BHNS (Créalys d'Irisbus à Nîmes, Citelis à Rouen, Transval de Marne...) et la venue sur le marché français de matériel proposé par d'autres constructeurs européens (Mercedes Citaro à Nantes, Man NG 272 à Bordeaux) et/ou fabriqués à l'étranger (Karosa), d'où un coût unitaire pour un autobus articulé de 18 m de 0,3 à 0,75 M€ selon le niveau de gamme,

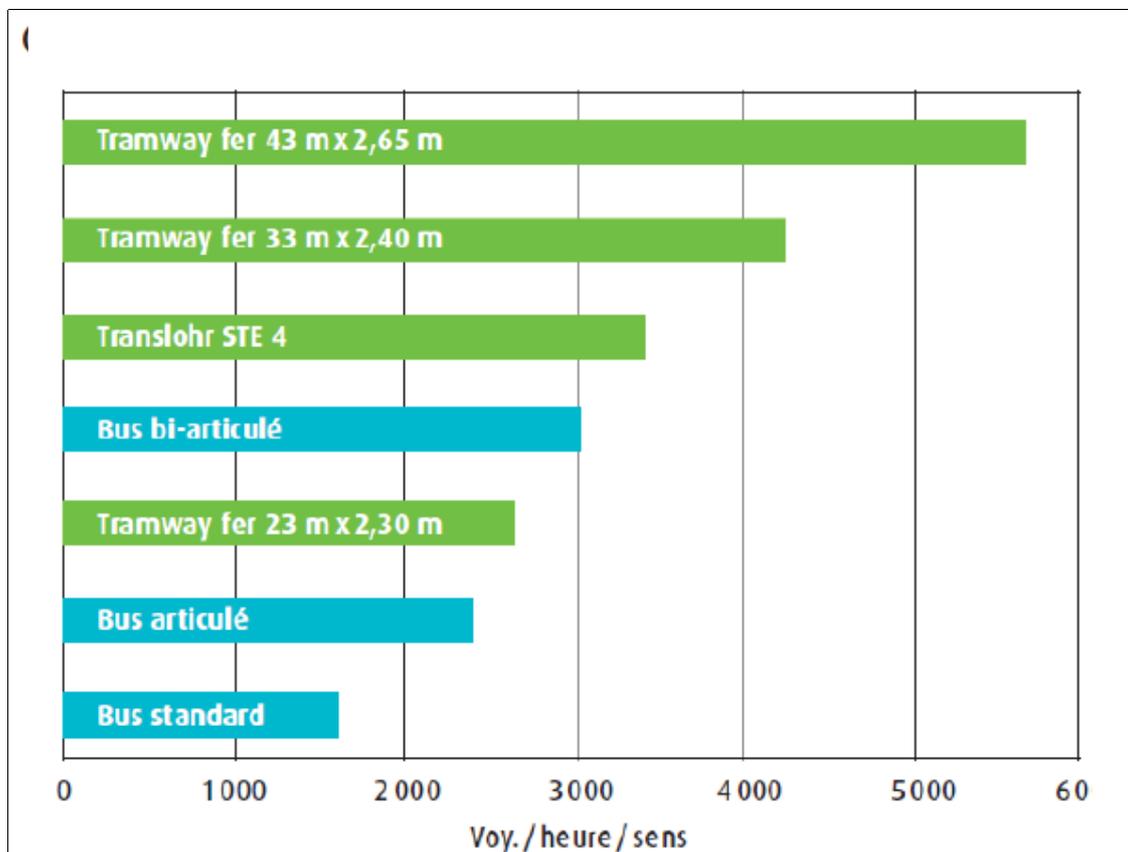
- le fait qu'élus et techniciens locaux ont été progressivement convaincus de l'intérêt des sites propres quasi-intégral pour les bus notamment en terme de vitesse commerciale, ce qui ôtait de l'intérêt à la bimodalité,

- le regain du trolleybus tant en France (Cristalis à Lyon) qu'à l'étranger (cf. dernier Congrès UITP à Vienne en 2009) avec un coût unitaire pour un articulé de 18 m de 0,5 à 0,9 M€.

- l'apparition d'Eveole (ex Phileas) d'APTS qui est à la limite du segment BHNS (cf. plus loin).

Le schéma ci-dessous produit par le CERTU montre qu'en terme de capacité tramway sur fer, tramway sur pneus et BHNS sont dans un intervalle de débit par sens de 1 500 à 5 500 voyageurs par heure et par sens et que leurs plages de pertinence se chevauchent, les BHNS étant plus adéquats au débit en bas de fourchette, les tramway fer en haut de fourchette.

Débit par heure et par sens des matériels roulants (4 pers/m², fréquence 3mn)



Un moment important du transport intermédiaire porta sur les essais, aux résultats mitigés, à la fin des années 90, des matériels disponibles à l'état de prototypes sur une section du TransVal de Marne à Thiais (partie guidée # 1,5 km). Cette expérimentation fut menée avec un soutien important du PREDIT, de la RATP de la plupart des acteurs précités¹⁰. Les matériels présents, qui ont été inégalement testés, avaient tous été développés avec le soutien financier de l'État :

- le Cavis de Renault VI, constructeur de véhicule routier, et Matra Transport : véhicule routier guidé (système optique) dérivé des trolleybus de Renault VI,
- le TVR d'ANF, constructeur ferroviaire : le véhicule était présenté comme un tramway sur pneu bimode (possibilité de mode guidé par un rail central, et de mode routier) monodirectionnel,
- le Translohr de Lohr, constructeur de matériel routier : ce véhicule était aussi un tramway sur pneu guidé par un rail central dont la possible bimodalité (au moins à petite vitesse) a été écartée et le caractère bidirectionnel¹¹ affirmé,
- d'autres constructeurs un moment intéressés ne présentèrent pas de véhicules : Ansaldo (Stream) et De Dietrich-Cogifer (TLP)
- parallèlement le TransVal de Marne était mis en service avec des bus articulés classiques de 18 m de type Renault VI PR 180-2 (valeur 1985 1, 5 MF).

Les questions de la nécessité ou pas d'un guidage, de l'intérêt d'un guidage continu ou partiel et dans ce cas du recours à la bimodalité pour le tramway à pneu ne furent pas vraiment analysées.

TCSP guidé ou pas ? Total ou partiel ? Bimode ou pas ?

- **Continu ou pas**
 - Continu : métro, tramway fer, Translohr,
 - Partiel (TVR, guidage optique) : en cours de parcours commercial, terminus → dépôt, accostage uniquement mais guidage possible dans circulation + L = 14,5 m au plus + aspects conduite
- **Avantages**
 - **Débit : longueur du matériel roulant, régularité,**
 - Insertion : gabarit moindre (largeur matériel + marges), trajectoire prévisible,
 - Sécurité (tunnels), confort (lacunes en stations) et respect du site propre.
- **Inconvénients** : rigidité d'exploitation , déviations des réseaux,
- **Conséquences**
 - Longueur : limitée à 24,5 si fonctionnement en non guidé
 - Homologation au titre de la sécurité : TG, matériel routier,
 - Réalisation, entretien : plateforme (cout d'invest.) + guidage (véhicule et sol)

La comparaison des systèmes de guidage monorail (TVR et Lohr) resta confidentielle.

Enfin la question du dimensionnement de la plate-forme fit l'objet de recherches sur le même site. On sait aujourd'hui que le risque d'ornièrage des tramways sur pneu impose des plates-formes en béton, comme à Caen et Clermont Ferrand.

Le Cavis fut mis en service à l'étranger (Las Vegas), où il resterait exploité, et expérimenté à Rouen et Clermont-Ferrand où il connut des échecs. Son système de guidage a cependant été adapté à des autobus classiques à Rouen (TEOR). Le TVR fut retenu à Nancy puis Caen, le Translohr à

10 Dans le cadre d'un groupement d'intérêt public ad hoc

11 Une cabine de conduite à chaque bout.

Clermont Ferrand (mise en service 2006) et en région parisienne¹², il connaît un succès relatif à l'étranger notamment en Italie.

Pour être complet sur les matériels de type transport intermédiaire mis en service, il faut encore citer l'utilisation à Bordeaux de dix autobus bi-articulés¹³ de type Renault RVI Megabus de 25 m de longueur et 206 places (coût 2,7 MF valeur 1990) de 1990 à 2003 avant la mise en service du tramway.

A noter que le TVR n'a pas été développé au sein de Bombardier Transports. Son concept est issu des recherches de la société belge la Brugeoise et Nivelles rachetée par Bombardier. L'origine est le concours « Cavallé¹⁴ » (1975) qui visait à définir (et à fabriquer) un Tramway Français Standard (TFS) et qui fut remporté par Alstom. La Brugeoise et Nivelles et Matra avaient alors proposé le Valbus ou VAL de surface. Ultérieurement ce projet fut concrétisé par un prototype dit GLT (Guided Light Transport) montré au Congrès UITP de Bruxelles en 1985 et utilisé sporadiquement dans les années 90 sur une ligne de 6 km à Rochefort dans les Ardennes belges. Ce prototype, et notamment son guidage, fut l'ancêtre du TVR développé et construit par ANF Industries

En conclusion il est aujourd'hui patent que le segment du marché des TCU autrefois identifié sous le vocable transport intermédiaire n'existe plus vraiment entre une offre tramway fer désormais concurrentielle et une offre BHNS plus économique, variée et performante et où des progrès technologiques restent encore possibles (hybridation, guidage...). En outre les éléments disponibles en matière de coûts d'investissement (à capacité égale et dans un gabarit limite d'obstacle donné) et de coûts de maintenance ne permettent pas d'établir un avantage comparatif incontestable du tramway sur pneu par rapport au tramway fer. Il n'est donc pas étonnant que les villes moyennes françaises s'orientent vers le tramway fer (Le Mans, Orleans, Brest, Dijon, Besançon, Le Havre) ou le BHNS (Nîmes, Maubeuge, Nantes, Metz, Toulon...).

Le rôle de l'État dans l'émergence du transport intermédiaire

Le choix de matériels de transport innovants classés sous le vocable transport intermédiaire a certes été, à Nancy et à Caen comme à Clermont-Ferrand, une décision des collectivités intéressées prise dans le cadre de leur libre administration. A la même époque, d'autres collectivités, également en position de choix, reculaient¹⁵ devant le risque lié à l'innovation, en dépit des investissements commerciaux de Bombardier.

Toutefois l'État a participé au développement du transport intermédiaire de trois manières :

- en participant financièrement au développement du concept ainsi qu'à l'expérimentation des différents matériels notamment dans le cadre du PREDIT,
- en finançant chacun des TCSP précités dans le cadre de la circulaire du 28 février 1994 au titre de l'aide directe apportée alors au développement des TCU respectivement pour Nancy 22 M€ et Caen 40.8 M€.
- au titre de ses missions régaliennes au regard de la sécurité en homologuant le matériel dans son fonctionnement routier (Code de la Route) et en autorisant la mise en service dans son fonctionnement en transport guidé (décret STG de 2003).

Après la mise en service initiale du TVR à Nancy (fin 2000) où des pertes de guidage ont conduit à une interruption de service d'un an, l'État est de nouveau intervenu en diligentant une mission du CGPC (rapport Desbazeille) au titre de la sécurité. Après modification du matériel et de l'infrastructure qu'il a en partie financée (1,2 million d'euros M€), il a autorisé la reprise du service en mars 2002. Ce retour d'expérience a permis une mise en service ultérieure (novembre 2002) mieux maîtrisée à Caen alors que l'appel à la concurrence avait été lancé plus tôt (1993).

L'État, tout en assurant son rôle au titre de la sécurité, a donc promu le transport intermédiaire à une époque où il était une solution crédible. Il n'a pas à regretter de l'avoir fait en province comme à Paris, avec Lohr comme avec Bombardier ou RVI. Il a ainsi élargi ainsi l'offre, incité les constructeurs traditionnels de tramway sur rail comme d'autobus à améliorer leurs produits. L'effet

12 Deux sites retenus dans le cadre de la consultation « STEP » du STP, toujours en études.

13 Ou tri-caisses comme à Curitiba et en Europe du Nord.

14 Secrétaire d'État aux Transports

15 Angers, Lyon, Rouen, Orléans, Tour...

conjugué de la concurrence et de l'innovation a été à l'origine d'une baisse des coûts des TCSP, du moins hors aménagements des espaces publics.

Il ne peut cependant désormais se désintéresser de la situation des AOTU de Nancy et Caen compte tenu de son implication passée dans les processus de mise en œuvre du système de transport de type TVR.

La sécurité du système TVR au titre des transports guidés et de l'homologation routière

En exergue, il faut souligner que l'État n'homologue pas un matériel guidé ou routier au regard de critères de coût d'exploitation, de disponibilité ou de service rendu, il homologue les matériels de transports sur des critères de sécurité.

Au titre de la sécurité des transports guidés, le rapport du SRMTG joint en annexe 4 donne une synthèse appréciable.

Les missionnaires en retirent que :

- après une mise au point difficile du système de guidage, l'ensemble du parc de TVR n'est entré dans une exploitation stabilisée et un niveau de sécurité satisfaisant qu'à compter de mi-2005,
- les incidents survenus par ailleurs ne mettent pas en cause la sécurité : ils tiennent en première analyse soit à des défauts de conception (tourelle de guidage, verrouillage des bielles d'articulation, jupes avant), soit à des défauts de fabrication (bandage galet), soit à la fatigue du matériel (étriers de galets, plateau avant de tourelles), soit à un défaut de maintenance (éclatement de pneu, rupture des boulons de fixation moteur), soit à des incidents d'exploitation (rupture d'attelage, obstacles sur la voie). Le vandalisme (obstacle sur la voie à Caen) ou des conditions d'utilisation anormales (traversée en mode routier d'un chantier de voirie à Nancy) ont pu jouer leur rôle,
- M. Frey impute dans ses rapports la longueur de la mise au point et le coût de la maintenance les premières années à l'insuffisance initiale du développement technique du produit, le constructeur s'étant ensuite fortement impliqué dans la résolution des problèmes de guidage,
- le STRMTG souligne que « la bonne exécution des opérations de maintenance est » un impératif incontournable » pour le maintien du niveau de sécurité,
- le STRMTG n'évoque pas les pannes de capteurs qui détectent le bon engagement du système de guidage. Ces capteurs sont à la limite de la fonction sécurité : leurs pannes, fréquentes, n'obèrent pas la sécurité mais impactent la disponibilité.



Translohr



TVR

Les deux systèmes de guidage

Au titre de l'homologation routière, les missionnaires ne disposent pas d'informations laissant penser que l'autorisation de circuler est menacée. Ils ont contacté l'UTAC pour obtenir plus d'informations. Les contrôles semestriels sont effectués à Caen et Nancy respectivement par les réseaux Dekra et Autovision selon les mêmes procédures que pour les autres matériels de transport routiers de voyageurs.

A noter la difficulté à disposer d'éléments d'information sur les aspects de sécurité liés à l'homologation routière. Les missionnaires en déduisent que : i) la dichotomie sécurité en mode guidé/sécurité en mode routier existe toujours même si le STRMTG est attentif sur ce point, ii) la sécurité en mode routier d'un matériel comme le TVR¹⁶ est à la marge du cadre classique des dispositions et du système en place pour la sécurité de l'ensemble du parc routier, iii) la nécessité d'une approche globale « sécurité en mode guidé/sécurité en mode routier » existe toujours pour le TVR comme pour les matériels bimodes, surtout s'ils venaient à se développer à travers le guidage informatique avec recalage.

En fonction de ces éléments, les missionnaires ne jugent pas critique l'utilisation du TVR au regard de la sécurité et estiment en tout état de cause qu'il n'y a pas lieu d'envisager à court terme son arrêt d'exploitation à ce titre. Toutefois cet avis est subordonné à une maintenance de qualité.

La maintenance des rames TVR et les grandes révisions

L'AFNOR définit la maintenance comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service spécifié. Il y a dans cette définition un large champ possible d'interprétation.

Bien qu'il existe une production abondante de normes dans le domaine, les missionnaires ont acquis la conviction que le vocabulaire n'était pas toujours stabilisé et que son sens variait selon la branche professionnelle, le constructeur, l'opérateur¹⁷ et l'AOTU¹⁸.

Ils ont compris comme suit les termes suivants s'agissant de matériel roulant de TCU :

- la maintenance préventive correspond à des actions programmées (gamme de maintenance selon un pas de 5 000 km à 30 000 km) à la rentrée et/ou au départ en service du matériel roulant avant qu'un risque se réalise,
- la maintenance curative correspond à des mesures correctives après panne en exploitation et elles s'inscrivent généralement dans l'urgence,
- la maintenance conditionnelle peut ressortir de chacune des classes précédentes ou constituer une classe à part, elle est déclenchée à la suite de constats ou de mesurages,
- la maintenance préventive et la maintenance conditionnelle sont incluses dans le plan de maintenance du matériel qui est en général une exigence exportée du constructeur vers l'exploitant,
- la maintenance patrimoniale correspond à des opérations de grosses réparations, qu'elles soient effectués à titre préventif, curatif ou dans la cadre de grandes révisions,
- les gros entretiens et révisions (GER)¹⁹ (parfois dites grande rénovations ou grandes visites en aéronautique) consistent à démonter entièrement un véhicule, à changer toutes les pièces d'usure, à vérifier et éventuellement à changer toute les autres pièces, à remplacer les pièces ou ensembles obsolètes éventuellement par des équivalents de technologies plus récentes (ex. cartes électroniques, calculateurs, girouette), à moderniser l'aménagement intérieur et les équipements embarqués (SAEIV, billétique). Les grandes visites se font généralement à mi-vie pour les matériels de transport urbain sur rail. Les opérations de grandes révisions sont définies au cas par cas selon la fin de vie visée et l'état constaté du matériel,
- les matériels ferroviaires ou aéronautiques peuvent faire l'objet de plusieurs grandes visites durant leur durée de vie (cas de la SNCF et RATP qui disposent encore d'ateliers ad' hoc) ; à l'inverse les autobus ne font pas l'objet de grandes révisions et sont vendus quand ils sont jugés globalement coûteux à exploiter et obsolètes,
- un rétrofit consiste en l'amélioration des performances spécifiées par le remplacement ou l'ajout de certains équipements (ex. pots catalytique, climatiseurs). Généralement après validation en ligne de

16 Ou de l'Eveole (ex-Phileas) de Douai.

17 La question de la maintenance est un argument de différenciation et de compétition entre constructeurs et entre opérateurs, il n'est donc pas étonnant que chacun développe sa propre doctrine, son propre vocabulaire, ses propres méthodes, ses propres argumentaires et soit discret sur ses résultats.

18 Le peu de volonté des AOTU (et du GART) à développer des synergies sur le sujet est moins compréhensible, de même que le relatif désintérêt de l'État.

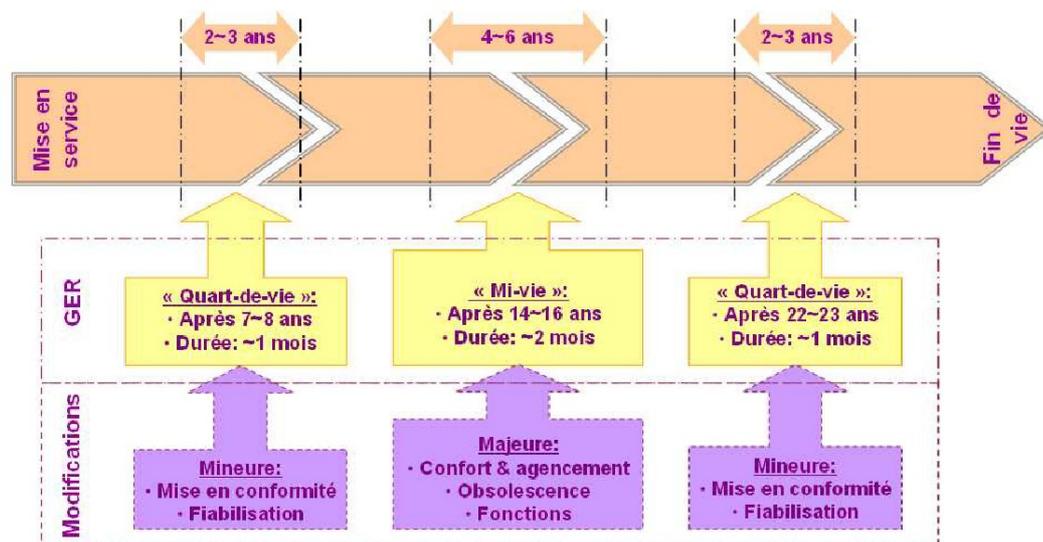
19 Parfois dites grandes rénovations ou grandes visites en aéronautique.

l'amélioration, celle-ci est étendue à tout le parc de matériel qui se retrouve alors au même niveau de fonctionnalités et de performances,

- les rétrofits et les grandes révisions ne coïncident pas forcément²⁰ : le TVR a déjà fait l'objet d'au moins un rétrofit en matière de guidage.

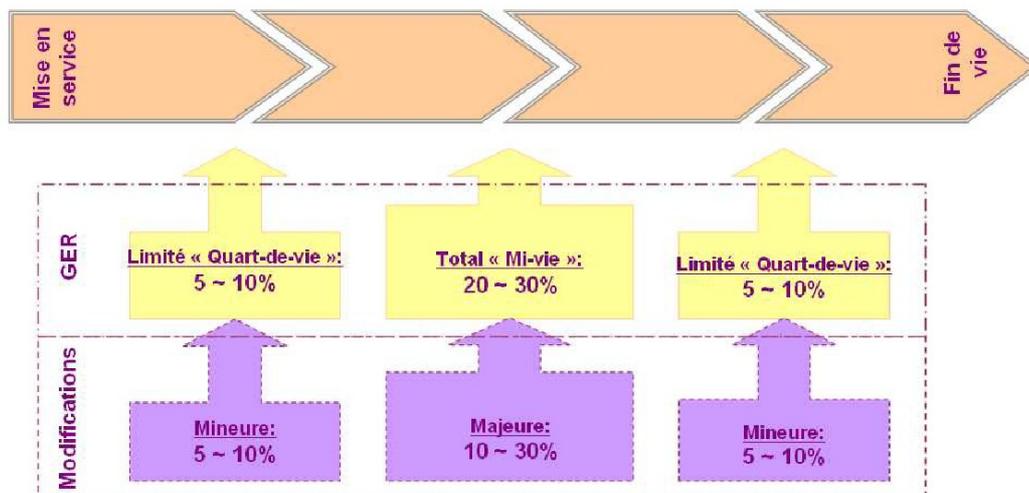
L'analyse économique de la maintenance suppose également la connaissance de quelques définitions. Les coûts de maintenance du matériel roulant constituent une partie des coûts d'exploitation lesquels incluent également les coûts d'opération (personnels de conduite, énergie, consommables...) et les coûts relatifs à l'entretien des installations fixes notamment l'infrastructure en ligne et le dépôt du système de transport. Le coût de possession²¹ est la somme des coûts initiaux d'investissement, d'opération et de maintenance durant la durée de vie (ou d'utilisation) d'un matériel donné. Il se rapproche des notions de coût global dans le bâtiment et de TCO (Total Cost Ownership) dans l'industrie.

Les deux schémas ci-dessous extraits du rapport SYSTRA sur Caen précisent la notion de cycle de vie d'un matériel roulant :



et les coûts afférents en % du coût du matériel neuf :

Il est très difficile de disposer de données chiffrées sur les coûts kilométriques en matière de TCU (cf. annexe 7), en raison de la discrétion des opérateurs (et donc de l'UTP) sur ces éléments



20 Mais peut être intéressante économiquement.

21 On parle également de coût de cycle de vie

stratégiques pour leur politique et leurs réponses aux consultations. Le CERTU consulté avoue sa difficulté²² et ses faiblesses sur ces questions en dépit de l'intérêt²³ porté aux questions économiques. Voici cependant quelques chiffres :

- le coût global d'exploitation d'un système de transports collectifs représente de l'ordre de 40 % de son cout de possession sur l'ensemble de sa durée de vie pour un autobus et de 60 % pour un tramway sur rail²⁴, le chiffre n'est pas connu des missionnaires pour le TVR,
- classiquement le coût de maintenance s'accroît au cours du temps avec le vieillissement du système et en forte dépendance avec les caractéristiques de l'infrastructure (pente, courbe, qualité de surface) et du mode d'utilisation (type de conduite, vitesse, arrêts...),
- lors de nos contacts, la RATP a évoqué²⁵un coût de maintenance kilométrique, pour 50 000 km/an par rame, du Citadis 302 de l'ordre de 1,6 €/km et du Translohr²⁶ STE 3 de 2,3 €/km, valeur qui paraît élevée, à rapprocher du coût de maintenance d'un bus de l'ordre de 1€/km, chiffres hors infrastructure,
- il n'y a pas de raison de penser que le coût de maintenance du TVR est inférieur au Translohr et l'on peut même penser qu'il est supérieur compte tenu d'un taux de pannes couramment admis comme supérieur,
- les coûts d'exploitation HT valeur 2007, cités par le CERTU²⁷ hors amortissements et renouvellement type grande révision et réfection de plate-forme, sont de 5 à 7 €/km pour un tramway (pneu²⁸ ou rail), 3,5 à 5 €/km pour un BHNS²⁹ et 3 à 4 €/km pour un bus classique,
- la décomposition des coûts d'exploitation donnée en 2004³⁰_par le CERTU est la suivante :

	Tramway sur fer	Autobus
Fonction opération	50%	75 à 85 %%
Fonction entretien du matériel roulant	35%	20%
Fonction entretien des installations fixes	15 à 20 %	1% ³¹

- la décomposition des coûts de maintenance, est donnée par le tableau, suivant, extrait d'une étude ancienne³² précitée du PREDIT sur un panel d'exploitants, en chiffres arrondis :

	Tramway sur fer	Trolleybus	Autobus
Main d'œuvre	50 à 60 %	65%	40 à 80 %
Pièces de rechanges	20 à 40 %	20%	20 à 40 %
Sous-traitance	5 à 30 %	15%	0 à 20 %

Pour avoir des éléments fiables, il faudrait, réseau par réseau, TCSP par TCSP, matériel par

22 Encore accrue par la quasi-étanchéité entre province (AOTU, grand groupes) et RIF (STIF, RATP)

23 Réflexion en cours.

24 Étude PREDIT DRAST n°87 MT 10 et étude allemande FGSV AA1.5/AA1.6.

25 Même si l'on peut penser que le fait que la RATP chiffre et fasse elle-même l'entretien introduit un biais, les ordres de grandeur et le classement des couts sont probablement là.

26 Une comparaison économique devrait inclure les autres coûts d'exploitation pour avoir un sens dans le choix d'un système ou de l'autre

27 Extrait de l'ouvrage récent du CERTU sur les BHNS.

28 Type Translohr.

29 Y compris trolleybus.

30 Extrait de l'ouvrage sur les modes de transports collectifs urbains.

31 En général assuré par le gestionnaire de voirie

32 Étude précitée PREDIT DRAST n°87 MT menée par Bertin et Systra en 1998.

matériel, se reporter aux contrats³³, vérifier les définitions et leur application et analyser les coûts en se rapportant à la comptabilité de l'exploitant. Les missionnaires ne sont pas allés dans ce détail. C'est vers quoi doivent s'orienter le CERTU et/ou les attributaires d'études PREDIT.

En l'espèce à Caen et Nancy les points suivants peuvent être avancés :

- les rapports de M. Frey (un par réseau), qui répondaient aux questions du tribunal, ne portent pour l'essentiel que sur le nombre d'heures consacrées à la maintenance et l'explication de l'écart avec les prévisions initiales. Ils ne contiennent pas de données sur les coûts kilométriques,
- d'après ces rapports, le nombre d'heures de main d'œuvre pour obtenir une maintenance satisfaisante et donc un taux de pannes qui se rapproche³⁴ des objectifs contractuels est très largement au-delà des estimations initiales annoncées par le constructeur : M. Frey cite à un moment un nombre d'heures nécessaires de l'ordre de 10 fois les volumes annoncés initialement et cela conduit en prenant en compte le tableau de répartition ci-dessus à des coûts de maintenance de l'ordre de 5 fois le coût visé et de deux fois le coût d'exploitation espéré,
- il n'y a pas lieu de mettre en doute la qualité de la maintenance assurée de manière différente à Nancy et Caen³⁵ mais les deux AOTU doivent rester particulièrement vigilantes compte tenu des enjeux en matière de sécurité, de disponibilité et de durée de vie en se dotant des moyens de contrôles nécessaires,
- classiquement au cours du temps et pour un matériel donné, le vieillissement accroît le taux de pannes, les pièces détachées sont plus difficiles à obtenir et plus coûteuses selon l'effet parc³⁶, et donc le coût de maintenance devient plus élevé ; il n'y a pas de raison pour que le TVR échappe à cette loi,
- seuls les grandes révisions et les rétrofits permettent de retrouver un coût de maintenance plus bas pour autant qu'ils aient été étudiés de manière approfondie sur ce point : de nouveaux engagements en termes de taux de pannes et de coûts kilométriques devront être pris par l'ensemble des intervenants,
- un rétrofit ou modernisation technique du matériel devra inclure, au minimum, au niveau du guidage un chasse obstacle (cf. rapport SRMTG) ainsi que probablement un système de capteur amélioré. Par ailleurs il paraît souhaitable aux missionnaires de maintenir une certaine homogénéité des deux parcs TVR au moins au niveau guidage et des interfaces afin de bénéficier d'un REX³⁷ commun,
- le coût de l'ensemble des opérations de modernisation proposées par le constructeur s'établit à plus de 740 000 € par rame (cf. annexe 8).

Les aspects relatifs à la maintenance des infrastructures n'ont pas été étudiés ici en détail même si les phénomènes d'orniérage ont été cités (Nancy). Il faut néanmoins insister sur la nécessité d'un nettoyage rigoureux de la plate-forme. Par ailleurs au titre des grosses réparations³⁸, il faut signaler la nécessité de finir la reprise des parties en enrobés pour mettre en place une plateforme béton (Nancy), et dans les deux cas le colmatage des fissurations éventuelles de la plate-forme béton ainsi que l'amélioration des zones de droppages plus nombreuses à Nancy qu'à Caen.

In fine, il faut insister sur le fait que la bonne qualité de l'infrastructure est un facteur déterminant d'un vieillissement maîtrisé du matériel.

33 Seule l'analyse des contrats permet de connaître les obligations du délégataire ou du concessionnaire, les exigences exportées du constructeur vers l'exploitant, les performances garanties du système par le constructeur et/ou le délégataire, le prix au km -généralement- fournis dans les réponses aux consultations, décomposition des coûts, le nombre d'heures consacrées à la maintenance....

34 Le respect étant a priori impossible.

35 A Nancy entièrement par Veolia (y compris pièces détachées), à Caen par Keolis et Bombardier selon un partage contractualisé (pièces détachées à la charge de Bombardier).

36 50 TVR pour 1200 Citadis.

37 Retour d'expérience.

38 Importantes à Nancy dans le passé où beaucoup de parties en enrobés ont été remplacées par une plateforme béton.

Durées de vie à prendre en compte pour le matériel TVR

Les missionnaires ont envisagé deux durées de vie pour les rames existantes :

- **20 ans**, c'est à dire : i) la durée souvent citée comme probable pour le TVR par les professionnels consultés, prenant en compte le coût de maintenance, ii) une durée de vie supérieure à celle courante des matériels de type autobus (autour de 15 ans) et du même ordre que celle des trolleybus (de l'ordre de 18 ans), iii) une valeur inférieure de celle avancée (30 ans) pour les matériels de type Alstom Citadis³⁹ mais celle-ci est parfois mise en doute⁴⁰,

- **30 ans**, c'est à dire : i) la durée de vie promise par le constructeur qui a déterminé à Caen la durée contractuelle de la concession de travaux publics, ii) la durée de vie qui a été intégrée par les deux AOTU dans leur stratégie initiale et il est légitime qu'elles cherchent à s'en approcher compte tenu des coûts d'investissements initiaux et des capacités de financement dont elles disposent au regard des investissements qu'elles souhaitent réaliser, iii) la durée de vie souvent citée⁴¹ des tramways sur fer Alstom type TFS qui arrivent en fin de vie (encore 5 à 10 ans) et sur laquelle les collectivités intéressées vont avoir à prendre prochainement position (Rouen, Grenoble), iv) la durée de vie classiquement citée en matière de matériel ferroviaire, v) la durée de vie minimum à laquelle M. Frey propose de se tenir dans ses rapports d'expertise.

En théorie la durée de vie à retenir pour un matériel repose sur une comparaison du coût actualisé de divers scénarii de prolongation du matériel ou de remplacement par un matériel neuf. Ce calcul économique prend en compte les coûts d'achat et coûts associés (ex. transformation d'un site propre), les coûts d'exploitation dont la maintenance selon le plan de maintenance en principe fourni par le constructeur et contractualisé entre l'AOT et l'exploitant (ou délégataire), les coûts d'opération, ceux des grandes révisions à mi-vie... Les tramways sur rail ou pneu étant, pour la plupart, relativement récents en France, peu d'AO se sont lancés dans des calculs économiques de ce type et elles privilégient pour l'instant les extensions de réseaux et les augmentations de capacités à l'évolution des matériels existants. Par ailleurs les préoccupations des élus locaux en matière de transports ne sont pas toujours de long terme.

Dans la pratique d'autres critères sont pris en compte :

- l'évolution (en positif comme en négatif) du taux de pannes, de la disponibilité des rames et des coûts de maintenance sur lesquels les missionnaires ne disposent pas pour l'instant de données suffisantes et homogènes à Caen comme à Nancy, peuvent conduire à modifier un choix fait aujourd'hui. Si une prolongation de durée de vie peut être décidée à tout moment, une décision de retrait d'un matériel de type tramway ne devient effective que 6 à 7 ans plus tard⁴² et doit être fondée sur des analyses préalables techniques, économiques et juridiques détaillées,

- pour les autobus les critères de confort, esthétique, pollution (normes euro), consommation, accessibilité, aménagement intérieur jouent un rôle d'autant plus grand que le coût d'un véhicule est faible (0,4 M€) et qu'il existe un marché de l'occasion⁴³,

- le remplacement ou la modernisation du matériel roulant renforce la disponibilité des matériels et en général l'attractivité d'une ligne,

- les équipements embarqués SAEIV, caméras, accessoires divers sont de plus en plus nombreux, d'un coût à peu près fixe par véhicule, d'une durée de vie plus courte (10 ans ?), coûteux en investissement comme en maintenance, en valeur absolue comme en pourcentage du coût du véhicule. Ils contribuent donc à raccourcir la durée de vie des matériels dont la durée de vie était auparavant longue.

En l'absence de données financières permettant des calculs économiques fondés, les rédacteurs pensent que :

- la durée de vie raisonnable des rames TVR, compte tenu de coûts de maintenance élevés, devrait être d'au moins 20 ans. Cette durée reflète le fait que ce matériel est entre une conception

39 Le constructeur évoque lui 30 à 40 ans.

40 A cet égard, l'attitude de Montpellier à l'approche (2015) des grandes révisions à mi-vie des premières rames mise en service de son tramway sera très instructive.

41 Le constructeur évoque lui 30 à 40 ans.

42 La décision est donc à prendre au plus tard en 2015 pour un retrait en 2022.

43 Ce qui devient aussi vrai pour les tramways fer.

ferroviaire et une conception routière proche d'un trolleybus,

- à Caen, le montage contractuel impose, sauf sortie de concession de TP, de respecter la durée de 30 ans (retrait des rames en 2032) ce qui ne pourra être fait qu'en affectant les ressources nécessaires à la maintenance et à faire à mi-vie une grande révision/rétrofit approfondie

- à Nancy, le montage contractuel rend l'AOTU susceptible de choisir une durée de vie de 20 ans (retrait des rames autour de 2022) et faire à mi-vie une grande révision/rétrofit adaptée. Un calcul économique permettrait d'éclairer la décision.

Un calcul économique à partir des données d'exploitation est cependant souhaitable.

A ces termes respectifs, un retrait des matériels TVR devra être envisagé

Bombardier n'ayant pas manifesté l'intention de développer une nouvelle génération de TVR basé sur le même principe de guidage, le retrait du matériel doit être envisagé (cf. plus haut) dès maintenant par les deux collectivités dans le cadre de l'évolution de leurs réseaux.

Ce retrait s'accompagnera nécessairement de la reprise de la plate-forme et des installations fixes aucun autre matériel n'étant susceptible de réutiliser le rail existant pour son guidage, sauf modification par meulage dans l'hypothèse de mise en oeuvre du Translohr. C'est le revers, connu dès l'origine, d'une technologie « propriétaire », bimodale, pour laquelle il n'existe pas d'offre d'autres constructeurs.

Trois scénarios peuvent être construits où les aspects relatifs à l'évaluation et à la prévision du trafic à écouler sont fondamentaux :

- **Translohr** : ce tramway sur pneu, non bimode, également « propriétaire », est doté d'un guidage bien conçu et fiable (cf. Clermont-Ferrand). Le modèle STE 3 s'il est adéquat en longueur et probablement en capacité⁴⁴ est d'une largeur inférieure au TVR (2,2 m pour 2,4 m) et d'une hauteur de plancher différente rendant nécessaire de reprendre les quais de stations. Ce point résolu, restera essentiellement la question du rail d'un profil différent de celui du TVR point sur lequel Lohr serait susceptible de proposer des solutions par meulage du rail existant. L'ordre de grandeur en coût est de la « lohrisation » est de l'ordre de 100 à 150 M€ par TCSP et celui de la durée des travaux de l'ordre de 6 à 12 mois,

- **BHNS** éventuellement guidé, éventuellement avec trolleybus : cette solution plus économique n'est pas à exclure. Elle pose cependant des problèmes de largeur de plateforme et serait considérée a priori par les collectivités intéressées comme une régression en termes de qualité de service et d'attractivité, ce qui est inexact et que l'on peut regretter (voir Rouen, Nantes...),

- **tramway sur rail** : ce scénario, en supposant de choisir un matériel de même longueur et largeur (24,5 X 2,40) impose de reprendre complètement la plateforme et de rendre celle-ci continue à la fois sur le tracé commercial et jusqu'au dépôt (partie haut le pied), éventuellement les quais (hauteur), de reprendre le dépôt et de franchir les points durs (rayons ou pente) soit grâce à un matériel adéquat soit en reprenant le tracé actuel. Les deux questions principales sont alors le coût d'investissement dont l'ordre de grandeur est entre 200 et 300 M€ par TCSP et l'interruption de service nécessaire aux travaux (24 mois ? possibilités de phasage ?),

A noter qu'à échéance de 10 ans il est peu probable que de nouveaux matériels apparaissent. En revanche les évolutions suivantes verront le jour :

- évolutions de tramways sur rail : tramway économique (exemple du tramway CAF), franchissement de pente, rayon de giration, chaîne de traction, bogies, alimentation sans fil souvent avec des technologies « propriétaires »...

- évolution des autobus et trolleybus ciblés BHNS : hybride silencieux et non polluant, design extérieur et intérieur, bi-articulé, chaîne de traction dont motorisation⁴⁵ des trolleybus...

- évolution du Translohr : plus grande flexibilité du produit en largeur, bidirectionnel/monodirectionnel, alimentation par caténaire inversée, plate-forme préfabriquée ...

Par ailleurs, il faut souhaiter que :

⁴⁴ La RATP indique un débit inférieur au TVR.

⁴⁵ Cf. moteurs roues Lohr.

- le matériel Eveole (ex-Phileas) d'APTS (filiale VDL), autobus monotrace, articulé ou bi-articulé, bi-mode, hybride et doté d'un guidage informatique avec recalage, sorte de sa phase de développement à la fois technique et commerciale⁴⁶,

- le Translohr, sorte de sa diffusion actuelle, son parc en service étant de l'ordre de 150 rames. Ce point -et donc la pérennité⁴⁷ du produit- est directement lié aux ventes à venir en France comme à l'étranger. En France, les ventes seront réduites du fait de la taille du marché, du caractère « propriétaire » de la technologie et de la parcellisation des marchés de mise en œuvre mais aussi du fait du positionnement économique actuel du produit tant en investissement qu'en maintenance. Les autres avantages compétitifs du produit (moindre coût de la plate-forme et du dépôt, pente, rayon de giration, fiabilité) s'en trouvent obérés. Sur la comparaison économique tramway sur pneus par rapport au tramway sur fer Lohr a fourni un tableau de synthèse récapitulant ses arguments (cf. annexe 9). Le développement du Translohr à l'étranger où en particulier la simplicité de la plate-forme et la possibilité de montages de réalisation moins parcellisés sont des atouts, pourrait par ricochet inciter les maîtres d'ouvrage à une meilleure appréhension des qualités de ce matériel.

- le présumé très favorable dont bénéficie le tramway sur fer auprès de nombreux élus soit rapporté à ses coûts tant en investissement qu'en fonctionnement et aussi à ses performances parfois surévaluées.

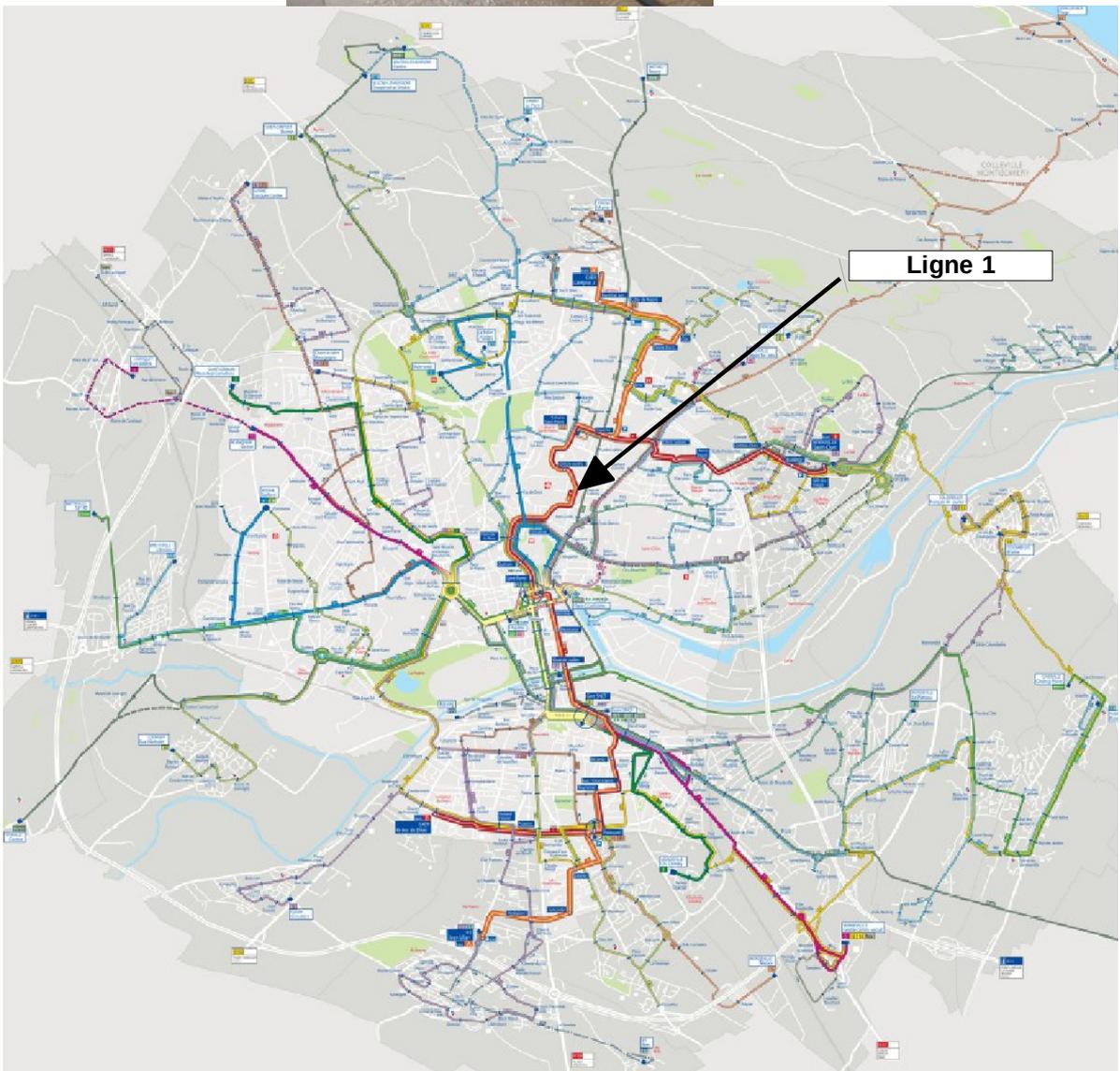
46 Le rachat de la technologie ou l'emploi de techniques similaires par un constructeur mondial et l'implémentation dans une AOTU doté de moyens d'expertise serait un cap décisif pour le concept.

47 Celle du guidage, bien conçu, semble en revanche assurée à travers notamment l'adaptation au Neoval.

Le TVR de Caen



Le réseau TCU de Caen



III. Éléments d'analyse spécifiques au réseau de Caen

Principales données relatives au réseau

Nombre de voyages / an sur le réseau	26,8 millions de voyages/an
Nombre de voyages / an sur le TCSP	12,3 millions de voyages :an soit 46 % du réseau
Dépenses de fonctionnement	40,5 M €
Recettes du réseau	20 M €
Taux de couverture	45,70%
Longueur commerciale du TCSP	14,8 km
Longueur commerciale en mode guidé du TCSP	100%
Nombre de rames TVR	24
Production kilométrique du parc TVR	1,3 M km :an

Montage juridique

Le montage juridique de Caen a déjà été décrit. Bien que celui-ci soit solide au plan juridique, il recèle des incertitudes sur :

- l'échéance du montage fin 2032 : elle est en première analyse difficile à concilier avec la durée de vie du matériel estimée par beaucoup, sauf grande révision/rétrofit en profondeur du matériel roulant par le constructeur dans le cadre du groupement concessionnaire de travaux publics STVR,
- l'évolution de la double concession et de la convention tripartite avec les extensions de la ligne 1, la réalisation en TCSP de la ligne 2 ainsi que les évolutions diverses (évolution de l'offre...) : il y a un risque qu'à procéder systématiquement par avenant, les parties sortent de l'économie initiale du montage,
- du côté des concessionnaires : les coûts d'exploitation estimés à l'origine sont probablement largement dépassés et Bombardier souhaite manifestement revoir l'architecture contractuelle en se dégageant de la concession de TP.

Évolution du réseau

Il existe un besoin identifié de rames supplémentaires (environ 10) sur la ligne 1, du fait :

- du succès en terme de fréquentation grâce aux pôles desservis, à la conception générale de la ligne (TCSP de qualité) et à l'esthétique du matériel,
- du manque de fiabilité, d'où une disponibilité insuffisante du parc, d'où un manque de rames en lignes, d'où une insuffisance de débit et donc de capacité journalière de la ligne,
- des extensions souhaitées par l'AOTU (6 km) de part et d'autre des extrémités actuelles (double Y).

L'AOTU a en projet une ligne forte dite n° 2 dont le choix du mode reste à décider en lien avec celui des extensions de la ligne 1.

Par ailleurs le dépôt a été manifestement conçu trop à l'économie et sans marges par rapport à une maintenance coûteuse en espace comme en hommes.

Trois scénarios⁴⁸ sont étudiés dans l'étude remise par SYSTRA sur l'avenir de la ligne 1 et du réseau caennais :

- maintien du système en l'état, sans modification des contrats et des conditions financières de leur exécution ni de la répartition des tâches entre les concessionnaires,
- amélioration du système TVR en nombre de rames et en moyens,
- abandon du système TVR.

Les résultats de cette étude qui vient d'être remise à l'AOTU peuvent être synthétisés comme suit :

- l'analyse de la situation actuelle et les projections montrent la pertinence du tracé de la première ligne mais mettent aussi en évidence la nécessité de densifier l'offre de transport dès 2014. Cette massification de l'offre peut passer par l'amélioration de la fréquence de desserte de lignes existantes pour desservir les extensions envisagées et de soulager le tronçon le plus chargé de la ligne existante.

- A plus long terme il sera nécessaire que l'offre proposée sur le tracé actuel du TVR et de ses futures extensions soit de qualité ce qui passe l'accroissement du parc et ses meilleures disponibilité et fiabilité.. Deux solutions se dégagent :i) maintien et amélioration du parc TVR et extension de son parc, ii) mise en place d'un nouveau matériel roulant.

- le cas de l'extension du parc de matériel roulant ne constitue pas a priori une solution optimum en terme de pérennité : soit de nouvelles rames sont achetées en 2014 et l'exploitation ne bute plus sur des limitations de capacité jusqu'en 2032 date de fin d'exploitation des rames mises en service en 2002 mais les nouvelles rames produites en 2014 ne sont plus suffisantes pour poursuivre l'exploitation, soit les rames de Nancy sont rachetées en 2022 mais pour une durée d'exploitation limitée à 10 ans. En termes de coût d'investissement l'achat des rames de Nancy revient moins cher que l'achat de véhicules neufs.

- la mise en place d'un nouveau système pourrait offrir plus de pérennité mais avec des impacts différents selon le mode choisi :

- BHNS et trolleybus bi-articulés sont des matériels éprouvés mais il sera nécessaire d'élargir la plateforme sur l'ensemble du tracé,

- le tramway sur fer nécessite la reprise de la plate forme et pose la question du franchissement des fortes pentes,

- le tramway sur pneus de type Translohr ne nécessite pas de reprise importante de la plateforme mais il reste un système propriétaire dont la pérennité est liée aux ventes à venir et à l'évolution de l'actionariat de la société Lohr.

Les coûts d'investissement sont globalement proches pour les solutions pneumatiques (entre 140 et 350 M € selon les extensions retenues alors que pour le tramway fer la fourchette est comprise entre 240 et 410 M € selon les mêmes hypothèses d'extension. En coûts d'exploitation les modes BHNS et trolley sont moins onéreux que ceux du tramway fer et du tramway pneu.

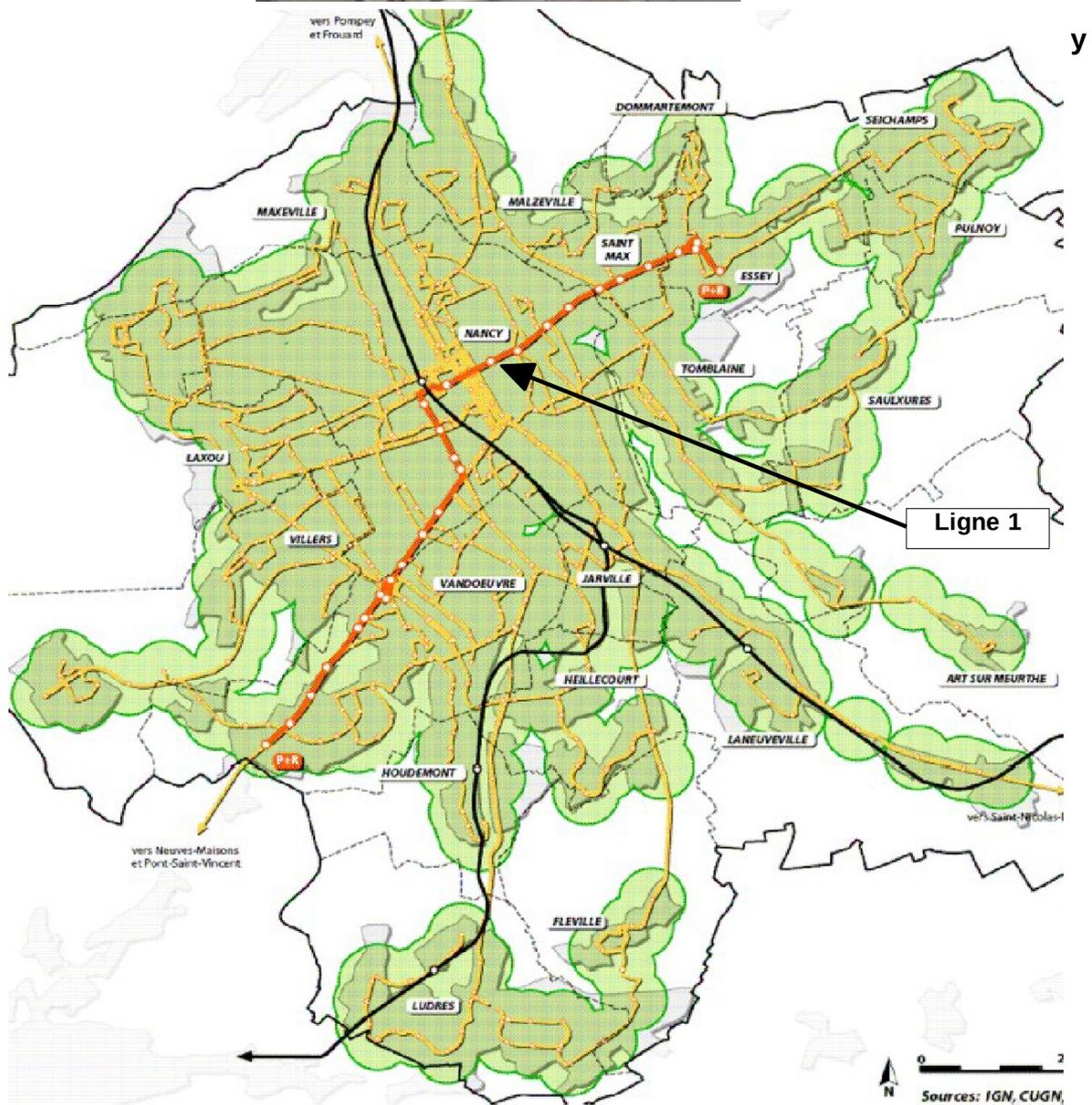
L'analyse juridique approfondie montre qu'aucun des scénarios envisagés ne permettrait d'éviter la rupture des contrats de concession à partir du moment où le parc de matériel roulant est étendu ;cette rupture générerait des montants d'indemnisation évalués à 70 M €.

L'ensemble de ces éléments ont amené le bureau d'études SYSTRA à conclure que les perspectives d'évolution du réseau et la pérennité de la ligne principale reposeraient sur la modification du mode existant. Cependant compte tenu de la date de mise en service du parc existant et de la durée des concessions il est apparu judicieux de différer de plusieurs années le retrait du TVR avant de réaliser le choix du futur système. Ce report imposera malgré tout de procéder à des opérations de modernisation du matériel roulant existant pour en améliorer la disponibilité et la fiabilité.

Cette analyse est similaire à celle préconisée par les rédacteurs du rapport dans leur document d'étape remis en mars 2010 .

48 Où les aspects techniques, économiques et juridiques sont liés.

Le TVR de Nancy



. Éléments d'analyse spécifiques au réseau de Nancy

Principales données relatives au réseau

Nombre de voyages / an sur le réseau	25,3 millions de voyages/an
Nombre de voyages / an sur le TCSP	10 millions de voyages :an soit 39 % du réseau
Dépenses de fonctionnement	50 M €
Recettes du réseau	18,4 M €
Taux de couverture	39,80%
Longueur commerciale du TCSP	11 km
Longueur commerciale en mode guidé du TCSP	60%
Nombre de rames TVR	25
Production kilométrique du parc TVR	1 M km/an

Données relatives au fonctionnement du TVR

Le matériel côté Nancy semble connaître des pannes plus nombreuses du fait de nombreuses prises de guidage / sorties de guidage et de l'utilisation en mode routier qui accéléreraient le vieillissement.

L'absence de référentiel commun entre Caen et Nancy n'a pas permis aux missionnaires de valider ce point.

Elle est cependant possible et plaide, si elle est avérée, pour l'extension de la partie guidée, si possible, à la totalité du parcours commercial. Une autre conséquence serait une amélioration de la vitesse commerciale⁴⁹ et donc du débit possible en heure de pointe. Par ailleurs l'accessibilité des handicapés serait améliorée. Cette extension devrait prendre en compte le retrait à terme des rames TVR et les scénarios alors envisagés.

Montage juridique

Le montage est à Nancy classique : i) une délégation de service public de réseau détenue d'abord par Connex puis par Veolia dont les engagements contractuels expiraient le 10 avril 2010, ii) des investissements assurés directement par la Communauté urbaine à travers d'une part un marché avec le constructeur et d'autre part un ensemble de marchés relatifs à l'infrastructure, iii) une maîtrise d'œuvre partagée, peut-être au détriment de l'homogénéité de la plate-forme.

L'AOTU s'est dégagée de Bombardier à la suite de procédures contentieuses selon une transaction à fin 2005. Elle n'a pas souscrit à ce jour le contrat d'assistance technique proposé par Bombardier sous condition de purger les procédures, une somme d'environ 2 M€ restant toujours en litige.

Veolia effectue aujourd'hui seul l'ensemble des prestations de maintenance y compris fournitures des pièces détachées sur ce matériel très spécifique. Cela lui donne un avantage compétitif pour le renouvellement par rapport à d'autres candidats, même si Keolis connaît également bien le sujet (cf. Caen).

La délégation de service public est en cours de renouvellement et les offres ont été très récemment ouvertes. Les missionnaires estiment que :

- la consultation, compliquée dans ses dispositions, témoigne à la fois des hésitations de l'AO sur les scénarios d'évolution du réseau (lignes 1 et 2) et de sa volonté de transférer au délégataire l'évaluation des choix et la gestion des investissements,

49 Sous réserve d'une priorité aux feux du TVR.

- un risque juridique de requalification du contrat existe si les parties s'éloignent trop des solutions de base,

- une concurrence réduite pourrait conduire à une reconduction de facto du délégataire actuel sur des bases économiques peu favorables sauf négociation éclairée par la comparaison avec des réseaux semblables.

Selon les éléments obtenus de l'autorité organisatrice lors de la présentation du rapport intermédiaire en mai dernier, l'AOTU n'a pas tranché sur les suites à donner à l'appel à concurrence : i) déclarer infructueux et relancer une nouvelle consultation sur des bases moins ambitieuses et plus traditionnelles devrait être organisée, ii) négocier avec l'unique soumissionnaire sur la base de sa proposition et ainsi éviter de prolonger une nouvelle fois le délégataire actuel selon un montage qui reste à étudier.

Évolution du réseau

Sur l'évolution du réseau, il peut être avancé les points suivants :

- un problème de capacité de la ligne 1 existe comme à Caen dû à une disponibilité insuffisante mais l'AOTU n'envisage pas racheter à Bombardier des rames supplémentaires : elle a trouvé des solutions en déchargeant la ligne 1 par des lignes parallèles et/ou des doublages bus,

- la réalisation de la ligne 2 en TCSP est en attente de décision suite à la consultation pour le renouvellement de la concession : i) le dossier a été pris en considération par l'État dans le cadre du 1° appel à projet sur la base d'un choix trolleybus guidé, ii) la ligne est en majeure partie en TCSP mais pas complètement, iii) la collectivité semble s'orienter vers une stratégie de mise en place différée et/ou progressive.

V. Avis de synthèse

Le diagnostic technique du STRMTG (en annexe 4)) prouve que la sécurité du matériel ne sort pas du risque afférent à ce type de matériel et est de l'ordre de celle d'un tramway sur rail. Sa maintenance doit cependant être attentive.

Par ailleurs les missionnaires ont pu constater lors de leurs contacts que, malgré les différences de contexte et de montage juridique, les deux autorités organisatrices se retrouvent finalement dans des situations convergentes. Celles-ci devraient les amener à conserver le matériel TVR encore une dizaine d'années et à différer les choix d'investissements pour les extensions de lignes existantes et les nouvelles lignes.

Les deux problèmes liés qui demeurent sont :

- la fiabilité du matériel (rapport Frey) ce qui rejaillit sur la disponibilité et donc sur la capacité potentielle des lignes,
- le coût de maintenance supérieur aux prévisions initiales et à celui d'un tramway sur rail.

De multiples raisons sont avancées : insuffisance du développement initial, complexité du matériel, parc de petite taille...

L'intérêt de la bimodalité du TVR (routier, guidé) qui a été un argument de vente, se trouve à l'expérience obéré par le vieillissement excessif qu'il induit et ses conséquences sur la disponibilité. Par ailleurs il incite les collectivités à ne pas réaliser un site propre intégral d'où des conséquences en termes de vitesse commerciale.

Le matériel doit pouvoir être exploité sinon jusqu'à sa durée nominale de vie (30 ans), du moins encore 12 ans correspondant à une durée de vie de 20 ans soit jusqu'à 2022. Les grandes révisions (2010/2015) et un rétrofit devront être faits de manière d'autant plus complète que l'AOTU de Caen pourrait souhaiter pour des raisons liées au montage contractuel, faire durer ce matériel jusqu'en 2032.

Si le scénario du retrait à court terme n'est pas de mise, une réflexion est cependant indispensable sur le retrait à terme du système TVR. Les deux AOTU se sont d'ailleurs engagées dans cette voie. La question du retrait se posera avec d'autant plus d'acuité que l'on se rapprochera de 2022.

Jusqu'à cette échéance le matériel doit être maintenu en conditions optimales de sécurité et de disponibilité. Cela ne pourra être atteint que par une maintenance particulièrement attentive.

La question du rétrofit, indispensable selon les missionnaires, ne peut être analysée hors du cadre contractuel de chacun des réseaux. Les points à discuter, de préférence en commun entre les deux AOTU, sont les suivants :

- définition et coût des grandes révisions telles que prévues dans les contrats existants,
- attentes en matières d'exploitabilité et de disponibilité
- définition et coût du rétrofit, analyse de la proposition Bombardier et écart par rapport aux dispositions contractuelles existantes.

Enfin soulignons que l'État ne peut pas se désintéresser du devenir des lignes TVR de Caen et Nancy. Elles correspondent à des choix de politique industrielle faits il y a 15 ans et qui n'étaient pas contestables dans le contexte de l'époque.

VI. Préconisations

De l'analyse et de l'avis de synthèse qui précèdent, découlent les préconisations suivantes :

1. Faire durer le matériel TVR pendant encore au moins 10 ans grâce à des grandes révisions et à un rétrofit qui amélioreront sa fiabilité, l'État participant à la dépense.

Le coût de grande révision et de rétrofit est de l'ordre de 0,750 M€ par rame selon la notice technique remise aux missionnaires par le constructeur (cf annexe 8) : 3 types d'investissement ont été retenus par le constructeur, ceux liés à l'amélioration de l'exploitation des véhicules pour renforcer la sécurité et le confort des voyageurs (320 000 euros par véhicule), ceux destinés à améliorer la maintenabilité des véhicules (250 000 euros) et enfin ceux destinés à moderniser l'esthétique des véhicules (175 000 euros). Le remplacement optionnel de la chaîne de traction représenterait un coût supplémentaire de 280 000 euros par véhicule. Il est proposé de retenir une dépense subventionnable de 500 000 euros par véhicule finançables à hauteur de 30%, ce qui représenterait un coût maximal pour l'Etat de 7.5 millions d'euros à financer sur 3 ans pour la remise à niveau de 50 rames.

Par analogie avec la solution retenue en 2004 pour le Poma de Laon, un financement de l'Etat maximum et exceptionnel de 30 % serait légitime si parallèlement chaque AO, traitée à parité, s'engageait à exploiter le TVR jusqu'en 2020. L'impact budgétaire pour l'État serait globalement marginal et pourrait être financé par redéploiement de la subvention annoncée pour Nancy au titre de la ligne 2, dont la réalisation devrait être reportée.

Que ce soit à Caen ou à Nancy, ce financement devra faire l'objet d'un traitement ad hoc hors procédure du 2^o appel à candidature TCSP.

La répartition du solde de besoin de financement est à discuter mais pourrait être répartie entre les opérateurs industriels au prorata des coûts de grande révision/rétrofit.

A noter que le groupement des deux collectivités pour passer commande à l'industriel permettrait des économies substantielles. Cela suppose d'élaborer un cahier des charges commun prenant en compte les besoins des deux collectivités (définition des opérations, calendrier..).

Par ailleurs l'analyse des coûts d'exploitation dont ceux de maintenance, dans le cadre soit d'une action financée par la DGITM (CERTU) soit par le PREDIT, serait bienvenue.

2. Les conséquences à en tirer pour Nancy

L'AOTU semble s'orienter vers les décisions suivantes : i) garder le TVR jusqu'en 2022 moyennant une grande révisions/rétrofit, ii) poursuivre le soulagement de la ligne 1 par des lignes parallèles et des doublages autobus, iii) choisir un trolleybus ou un BHNS sur ligne 2 dont la réalisation est différée..

Elles nous paraissent adéquates et compatibles avec : i) la taille de l'agglomération, ii) notre avis de synthèse ci-dessus.

Par ailleurs :

- le choix du BHNS pour la ligne 2 serait particulièrement opportun pour tenir compte de l'évolution de ce mode et de la reconstitution des capacités financières de l'AOTU.,

- la grande révision suppose a priori un accord triangulaire AOTU, délégataire, Bombardier,

- l'hypothèse de « lohrisation⁵⁰ » du réseau après retrait des TVR apparaît intéressante. Sous réserve de mise en place du site propre entièrement guidé, le parcours terminus dépôt pouvant être réalisé sur une voie ouverte à la circulation automobile.

Le retrait des rames du TVR est à envisager dès maintenant sous réserve des propositions formulées par Bombardier et/ou le futur délégataire visant à garantir la durée du matériel roulant jusqu'en 2022.

50 Mise en place du matériel Translohr ce qui nécessite, entre autres, une adaptation du guidage au sol.

3. Les conséquences à en tirer pour Caen

L'AO n'a pas, pour l'instant, formellement exclu de racheter des rames supplémentaires (de l'ordre d'une dizaine) à la fois pour augmenter la capacité de la ligne et pour faire face aux extensions aux deux extrémités.

D'après les éléments fournis par le constructeur le coût unitaire par rame serait supérieur à 5 M€ compte tenu des frais fixes afférents à une série limitée. Pour 10 rames le coût serait de 50 M € minimum. Ce coût doit être rapproché des coûts obtenus sur Brest/Dijon soit 2 M€ la rame pour un Citadis 203. Si pour rendre ce coût moins rédhibitoire, l'État devait financer en partie les extensions, il ne pourrait le faire qu'à travers un taux de financement exorbitant, le coût des infrastructures étant de l'ordre de 50 M €. Cette solution n'est pas réaliste et ne paraît pas, pouvoir être recommandée.

Le moment venu, l'hypothèse de « lohrisation » de la ligne 1 paraît comme pour Nancy pertinente (cf; document Lohr en annexe 10), un des critères de choix, en l'absence d'obstacles techniques, étant la durée des travaux pour passer d'un matériel roulant à l'autre : une durée de 6 mois avec arrêt du réseau par moitié serait de l'avis des missionnaires acceptable.

Le scénario qui nous paraît réaliste consisterait à ne pas réaliser les extensions de la ligne 1 en mode TVR et à rechercher des solutions alternatives, comme à Nancy, par la montée en fréquentation de lignes parallèles. Ces lignes, qui, outre qu'elles déchargeraient la ligne existante en capacité, pourraient aller plus loin que les terminus actuels et pourraient être cadencées voire conçues sous le mode BHNS. Pour autant qu'elles présentent un caractère de TCSP, elles pourraient être prises en considération dans le cadre d'un appel à candidatures TCSP.

Pour la ligne 2, le choix de l'AOTU, sur la base des scénarios et des études de coûts d'investissement et d'exploitation réalisés par SYSTRA pourrait se faire sur le mode BHNS ou trolleybus bi-articulé qui paraît pertinent au regard de la taille de l'agglomération, des trafics attendus et des capacités de financement ou sur une hypothèse de lohrisation progressive du réseau. Ce choix peut être différé compte tenu du souhait manifesté par la collectivité de reconstituer sa capacité de financement jusqu'en 2018.

L'amélioration du dépôt paraît à rechercher à court terme car il paraît inadapté pour le présent comme pour l'avenir.

4. Prendre en compte en amont les procédures relatives à la sécurité dans les deux réseaux

L'attention des deux AOT est attirée sur les procédures qui seront à mettre en œuvre dans les différents cas évoqués plus haut (cf. annexe 6) tant au regard des modes routiers que guidés :

- rétrofit TVR
- « lohrisation »,
- réalisation de TCSP BHNS
- remplacement du TVR par un tramway sur rail.

Le tableau en annexe 3 fournit un résumé auquel les deux AOTU sont invitées à se rapporter.

5. Rechercher des synergies sur le TVR entre les deux réseaux

Les missionnaires ont constaté qu'il n'existe pas de possibilité de récupérer tout ou partie du parc de TVR d'une AOTU par l'autre. En effet :

- aucune des deux AOTU n'a la possibilité -et n'envisage- à court terme de retirer du service son parc TVR,
- un transfert éventuel n'est pas réalisable avant 2022,
- si un tel transfert intervenait, il faudrait adapter, au minimum, les rames transférées à l'alimentation électrique de l'AOTU réceptrice, ce qui serait une opération non négligeable pour une durée limitée (10 ans).

Par ailleurs, les deux missionnaires ont été amenés à constater au cours de la mission que si des relations cordiales existaient entre les deux AOTU, elles pourraient aller plus loin et déboucher sur un travail commun dans l'intérêt de chacun.

Ce travail commun pourrait consister en :

- la définition d'un référentiel commun de suivi des pannes, des coûts d'exploitation et de maintenance, des heures de maintenances, ce référentiel devant s'articuler avec les suivis contractuels de chaque AOTU,
- l'élaboration de méthodes harmonisées de maintenance,
- la définition d'un cadre commun de suivi et contrôle de la maintenance des rames.
- un cahier des charges commun et un seul marché pour les opérations de grandes révisions / modernisation des rames existantes

L'ensemble de ce travail, le suivi de la mise en œuvre du référentiel et le contrôle de la maintenance pourraient être confiés à un bureau d'étude ou un consultant choisi à l'issue d'une consultation groupée de type « assistant aux maîtres d'ouvrage » (AMO).

Des réunions périodiques de travail entre les deux AOTU pourraient être organisées en accompagnement du suivi.

Ce partenariat entre les deux réseaux pourrait trouver sa première illustration à travers une négociation commune avec le constructeur pour le contenu technique de la modernisation des rames, les coûts d'investissement annoncés et le calendrier de mise en œuvre.

Tableau récapitulatif des préconisations

1	Faire durer le matériel TVR pendant encore au moins 10 ans grâce à des grandes révisions et un rétrofit qui amélioreront sa fiabilité, l'État participant à la dépense (7,5 M € de subventions pour les deux réseaux).
2	Les conséquences à en tirer pour Nancy : poursuite le soulagement de la ligne 1 par des doublages ou des lignes parallèles.
3	Les conséquences à en tirer pour Caen : trouver des solutions alternatives (idem Nancy) à l'achat de nouvelles rames TVR.
4	Prendre en compte en amont les procédures relatives à la sécurité dans les deux réseaux en cas de modifications substantielles.
5	Rechercher des synergies sur le TVR entre les deux réseaux (modernisation des rames, maintenance)

Annexes

Annexe 1

République Française

*Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable
et de l'Aménagement du territoire*

Le Secrétaire d'Etat chargé des Transports

Paris, le **06 AVR. 2009**

A

Monsieur le Vice-président du Conseil
Général de l'Environnement et du
Développement Durable

Objet : mission de diagnostic et de prospective sur le tramway de Nancy

La première ligne de tramway mise en œuvre par la communauté urbaine du Grand Nancy (CUGN) et, dans une moindre mesure, celle réalisée par la communauté d'agglomération de Caen la Mer ont rencontré un certain nombre de difficultés qui ont conduit votre Conseil à réaliser en 2003 une mission d'expertise sur cette nouvelle technologie de tramway sur pneus.

La politique de transport durable du Grenelle de l'Environnement prévoit notamment le développement massif des transports collectifs en site propre. A ce titre, l'État a décidé de soutenir financièrement les autorités organisatrices pour la réalisation de nouvelles opérations. Par ailleurs, le Président de l'agglomération du Grand Nancy m'a fait part de son souhait de développer son réseau de transports collectifs en site propre et de son besoin d'être éclairé sur certains choix stratégiques.

Aussi, je vous demande de bien vouloir réaliser une mission ayant pour objet, au vu notamment du retour d'expérience de la première ligne de tramway, d'assister la communauté urbaine dans la définition des critères techniques et d'exploitation, notamment en termes de technologies envisageables, à prendre en compte pour élaborer sa stratégie de développement du réseau.

Cette mission devra être conduite en étroite concertation avec les services de la CUGN et en associant les services concernés du ministère, en particulier le Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés (STRMTG) pour ce qui concerne le diagnostic technique de l'exploitation de la première ligne. Je souhaite qu'un rapport me soit adressé à l'issue de cette mission.



Dominique BUSSEREAU

Annexe 2

CGEDD 006782-01

République Française

*Ministère de l'Ecologie, de l'Energie,
du Développement durable et de la Mer
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le Climat*

Le Secrétaire d'Etat chargé des Transports

Paris, le

19 OCT. 2009

Le secrétaire d'État

à

Monsieur Claude MARTINAND
Vice-président du Conseil Général de
l'Environnement et du Développement
Durable

Objet : Extension de la mission de diagnostic et de prospective sur le tramway de Nancy au tramway de l'agglomération caennaise

Par lettre en date du 6 avril 2009, je vous demandais de réaliser une mission ayant pour objet d'assister la communauté urbaine du Grand Nancy dans la définition des critères techniques et d'exploitation à prendre en compte pour élaborer sa stratégie de développement du réseau, au vu notamment du retour d'expérience de la première ligne de tramway sur pneus.

Le Député-maire de Caen m'a fait part de son souhait de voir élargir cette mission au tramway en exploitation dans son agglomération dont la technologie est identique.

(Aussi, je vous demande de bien vouloir étendre la mission en cours à Nancy à ce système de transport, en associant étroitement les services de l'autorité organisatrice des transports, Viacités, et ceux concernés du Ministère.

Dominique BUSSEREAU

*Hôtel Le Play
40, rue du Bac 75007 Paris*

Annexe 3

Liste des personnes rencontrées

Caen

M.le Député-Maire, M. le Président du SMTC, M. Directeur du SMTC

MM. les responsables du groupement STVR

M. Le responsable de la maintenance au sein de l'exploitant (Keolis)

Nancy

M. Le Sénateur-Maire, MM Les membres de la Commission Transport, M. Le Directeur général et DGA transport de la Communauté urbaine,

MM les responsables de l'exploitant (Veolia)

SRMTG

MM. Le Directeur et le responsable de la Division Transports guidés

INRETS

M. Le Directeur général

SYSTRA

M. Le Directeur France et MM les Chargés d'études du pôle économie des transports

RATP

M. Le Directeur général exploitation et MM les responsables du département matériel roulant ferroviaire

Lohr

M. Le Directeur de Translohr

Bombardier transport

M le responsable commercial Europe de l'Ouest et Amérique du Sud, M. Le Directeur de projet GLT,

STIF

M. Le Directeur des Investissements

Annexe 4 (document SRMTG)

Synthèse critique des évènements TVR (Nancy et Caen)

1) INTRODUCTION

➤ Contexte

Mission de diagnostic et de conseil confiée au CGEDD (MM Labia et Bourget) sur les TVR de Nancy et Caen. Sollicitation du STRMTG pour disposer d'un inventaire complet des incidents d'exploitation liés au système TVR :

- Inventaire et qualification des évènements.
- Efficacité des mesures correctives.
- Appréciation sur le niveau de sécurité actuel.
- Appréciation sur le niveau de fiabilité.

➤ Commentaire préliminaire

Si, par le passé, le STRMTG a pu (et dû) assurer un suivi assidu des premières années d'exploitation des systèmes TVR de Nancy et de Caen, la montée en puissance des services de contrôle locaux (BIRMTG) leur a permis de se substituer à ce service dans le rôle de contrôleur technique et de sécurité des systèmes en exploitation.

De ce fait, la connaissance par le STRMTG des évènements survenus sur ces systèmes est fondamentalement globale et ne peut prétendre ni au détail ni à l'exhaustivité.

Cependant, les modifications introduites par le constructeur Bombardier, et impactant la sécurité, ont toutes été portées à la connaissance du STRMTG soit directement, soit par le canal des services de contrôle locaux via leurs demandes d'avis sur la sécurité des propositions de modification.

Enfin, nous ne porterons pas d'appréciation sur le niveau de fiabilité des TVR, nous ne disposons en effet d'aucun élément en la matière.

➤ Proposition de classement des évènements

Les évènements sont classés en s'inspirant de l'ordre retenu pour les deux rapports récapitulatifs de Caen et de Nancy (note du 8 juillet 2009 établie par le BIRMTG Nord-Ouest pour le TVR de Caen, rapport du 7 août 2009 établi par Connex Nancy)

- Pertes de guidage
- Incidents liés à la transition entre les modes guidés et routiers
- Fissures ou ruptures d'éléments du système de guidage
- Incidents sur des éléments du matériel roulant en interface avec le guidage
 - Incidents liés au matériel roulant hors système de guidage
 -

2) PERTES DE GUIDAGE

➤ Défaut de conception d'origine

Il s'agit des 12 pertes de guidage intempestives recensées de mai 2002 à novembre 2003.

Sans entrer dans le détail, le premier déguidage a été mis sur le compte d'une défaillance constatée de l'articulation du galet; les autres évènements du même type n'ont pas à l'époque trouvé d'explication plausible.

En décembre 2003, lors d'essais sur le comportement de l'assistance de direction en mode guidé, Bombardier met en évidence l'interaction de l'assistance hydraulique sur le libre débattement du système de guidage.

Une modification du système par ajout d'une vanne by-pass permettant la circulation d'huile est développée. La fin de la modification des véhicules interviendra mi 2005.

Pour mémoire deux pertes de guidage auront lieu en 2004 et 2005 sur des véhicules non modifiés.

**Depuis la modification des véhicules,
aucune perte de guidage intempestive ne s'est produite.**

➤ Collisions avec un tiers

Quatre pertes de guidage sont recensées suite à des collisions avec des véhicules tiers ; ces évènements n'appellent pas de commentaire particulier car ils ne sont pas spécifiques au système TVR.

➤ Obstacles sur les voies

Les dernières pertes de guidage recensées sur les deux sites sont toutes liées à la présence d'obstacles sur les voies; pour l'essentiel situés dans la gorge du rail. Ces évènements sont plus fréquents à Caen qu'à Nancy ainsi que l'illustre le tableau récapitulatif ci-dessous :

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Caen	3				3	1	1	8
Nancy						1	1	2

Aucun de ces évènements n'a eu de conséquence majeure pour la sécurité, certains ont cependant provoqué des dégâts matériels importants au véhicule.

A Caen des actes de vandalisme sont évoqués comme cause principale, ce qui n'est pas le cas à Nancy.

Pour la suite, le constructeur étudie un dispositif de chasse obstacle.

Des premiers tests ont été faits dans le dépôt de Caen.

Un dossier de demande de modification devrait nous être présenté prochainement.

3) INCIDENTS EN PHASE DE TRANSITION

➤ Transition guidé - routier

Deux évènements de type dérive des caisses arrière se sont produits immédiatement après la mise en exploitation à Nancy. Dans les deux cas le verrouillage des bielles d'articulation des caisses en mode routier ne s'est pas fait.

Le constructeur a fiabilisé ce verrouillage et modifié la séquence de transition, l'exploitant a renforcé les consignes aux conducteurs.

Aucun événement de ce type n'a été porté à notre connaissance depuis.

➤ Transition routier - guidé

L'information des services de contrôle n'est pas forcément complète sur ce sujet.

On peut penser que, s'agissant des événements de type défauts d'insertion, sans conséquence matérielle, sans voyageur, ils sont considérés par les exploitants comme ne faisant pas partie des incidents à signaler systématiquement.

Nous avons connaissance de huit incidents d'insertion se répartissant comme suit :

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Caen						1	2	3
Nancy		2			1	1	1	5

Site de Caen

- 2007 Zone d'insertion d'extrémité : mauvaise insertion, pas d'information sur les causes.
- 2009 Zone d'insertion d'extrémité : mauvaise insertion causée par la présence d'un obstacle dans la gorge du rail.
- 2009 Zone fixe traversante : mauvaise insertion et collision de la caisse arrière avec bordure du quai. La validation trop tardive du mode guidé n'a pas permis au conducteur de détecter la mauvaise insertion avant la station (pas d'alarme possible sans la validation du mode et donc pas d'information donnée au conducteur de la mauvaise insertion)

Site de Nancy

- 2004 Zone d'insertion d'extrémité hors des critères suite à usure du cône d'insertion non maîtrisée et non contrôlée.
- 2004/2007 Zones mobiles : mauvaise insertion suite à une implantation incorrecte de la zone mobile en sortie d'une courbe prononcée et non respect des consignes par le conducteur.
- 2008 Zone de type non identifié.
- 2009 Zone fixe traversante : mauvaise insertion avec galet positionné entre le rail et la bordure de la gorge du rail. Cette position n'est pas détectée par un contrôleur de présence rail positionné trop loin du rail.

Commentaires

Nancy, le besoin en maintenance de la plateforme nécessite la mise en place de déviations pour assurer la continuité du service. Ces déviations sont parcourues en mode routier et la reprise de guidage se fait à l'aide de zones d'insertion mobiles. L'implantation de ces zones ne peut pas toujours être optimale selon la configuration du lieu.

Ces dernières années, à Caen comme à Nancy, des zones fixes traversantes ont été installées afin de rationaliser l'exploitation en mode dégradé, suite à travaux ou obstruction sur la ligne (panne d'un véhicule, manifestation, etc.) Des itinéraires de substitution, parcourus en mode routier, sont prédéfinis ainsi que des zones fixes de reprise de guidage. En exploitation nominale ces zones sont traversées en mode guidé à vitesse normale de la ligne, l'écartement entre les pointes d'insertion (la largeur de l'extrémité du cône d'insertion) doit permettre le libre jeu du galet guide. Pour une manœuvre d'insertion, cet écartement est trop grand et l'insertion peut

manquer de précision ; un galet peut rester à cheval sur la gorge et dériver ensuite.

Les caractéristiques dimensionnelles de ces zones traversantes ont été affinées ainsi que le profil du rail, qui comporte en partie supérieure un meulage destiné à favoriser le bon positionnement du galet.

Toutes ces défaillances ont lieu à faible vitesse : 5km/h.

Le positionnement des zones dans des espaces généralement réservés ainsi que le respect des consignes prévues pour la manœuvre d'insertion rendent le risque limité.

4) FISSURES OU RUPTURES D'ÉLÉMENTS DE GUIDAGE

➤ Bandage galet

Plusieurs ruptures constatées à Nancy sur les bandages des galets de première génération.

Le constructeur a identifié une mauvaise série de fabrication. En attendant leur remplacement, mise en place d'une bavette anti-projection.

Des galets d'un nouveau type (Vevey) ont été mis en service a/c 2005.

➤ Pivot de la tourelle de guidage

La rupture d'un pivot de tourelle a été constatée en novembre 2006 à Nancy. Ce modèle de pivot est commun aux essieux 1 et 4 des seuls TVR de Nancy. La rupture est consécutive à un défaut de conception d'un congé insuffisant générant des concentrations de contrainte. L'exploitation a été suspendue pour la durée de remplacement des pivots défectueux.

Aucune nouvelle rupture constatée sur les pivots de nouveau type

➤ Tenons d'unité de relevage

- **Caen** : deux véhicules concernés par une rupture des tenons (septembre et octobre 2007),

- **Nancy** : un véhicule concerné par une rupture et deux par des fissures (juillet 2007).

Le constructeur attribue ces défaillances à un défaut de conception et indique dans une note technique qu'il modifie la conception des tenons afin d'éliminer les concentrations de contrainte à l'origine de la rupture par fatigue, mais que la fonction guidage n'est pas affectée par les ruptures.

La totalité des tenons de tous les véhicules sera remplacée, fin des remplacements en novembre 2007.

Aucun nouvel incident de ce type depuis le remplacement.

➤ Étriers de galet

Plusieurs ruptures ou fissures d'étriers de support des galets sont constatées à Caen comme à Nancy.

L'information est transmise aux services de contrôle en octobre 2008, sans que ne soit précisé le nombre exact de ce type d'évènement. Ces ruptures ne peuvent pas provoquer de perte de guidage, le galet restant "emprisonné" dans la structure, la fonction est cependant légèrement affectée, le guidage devenant moins précis.

La fatigue au droit de zones de concentration de contrainte des trous de perçage est la raison de ces ruptures ou fissures.

Le constructeur a proposé de modifier les étriers (trou de perçage) et d'insérer une feuille de caoutchouc anti-frottement. L'étude théorique de l'impact de cette modification montre des niveaux de contrainte très réduits.

La campagne de modification a débuté début 2009, les opérations sont réalisées soit lors des opérations de maintenance à chaque reconditionnement du guidage, soit lors des ruptures.

Retour d'expérience insuffisant sur une période trop courte. A suivre

➤ **Bras de guidage**

Rupture d'un bras de guidage à Caen détectée en mars 2009. Évènement isolé que le constructeur considère comme un incident d'exploitation : choc contre un obstacle ou mauvaise manœuvre du véhicule.

**La sécurité du guidage n'est pas affectée par cette rupture,
détection assurée au final par le détecteur de présence rail.**

➤ **Plateau avant des tourelles**

Fissuration des plateaux avant des tourelles de guidage détectée en 2009 lors de contrôles sur trois véhicules à Caen Remplacement des plateaux fissurés

Pas d'impact sur la sécurité du guidage

5) INCIDENTS SUR DES ÉLÉMENTS DU MATÉRIEL ROULANT EN INTERFACE AVEC LE GUIDAGE

➤ **Décrochage, arrachement des jupes**

Plusieurs décrochages des jupes cache roue avant ont été constatés à Nancy et Caen. Ces jupes, plaquées dans l'alignement de la carrosserie en ligne droite, doivent pouvoir se soulever pour permettre la rotation des roues avant directrices. Leur maintien est assuré par des ressorts. En arrivée en station, le soulèvement d'une jupe, pour quelque raison que ce soit, fait que sa partie inférieure vient buter contre le nez de quai ; le quai étant plus haut que la bordure basse de la jupe, celle-ci se décroche entraînant parfois la rupture de la vitre latérale située à proximité.

- **Caen** : dix décrochements (2 en 2004, 2 en 2005, 1 en 2007 et 5 en 2008) ont amené le concessionnaire à modifier les jupes.

Une première modification provisoire a consisté à éviter le passage de roue et à rendre fixe la jupe ainsi évitée. Une modification définitive de la jupe est réalisée en janvier 2009, elle est mise en place progressivement.

- **Nancy** : trois décrochements de jupe en entrée en station suite à un choc sur les nez de quai (2006, 2007 et 2008)

En 2006 le principe de renforcement des ressorts et la mise en place de consignes et de procédures de maintenance plus strictes sont actés. La situation s'améliore. Après le renouvellement de l'incident en 2008, le sciage des nez de quai en biseau est effectué et donne entière satisfaction.

**Adoption de deux solutions différentes à Nancy et Caen
pour une résolution satisfaisante du problème**

6) INCIDENTS SUR MATÉRIEL ROULANT HORS GUIDAGE

Les services de contrôle ne sont pas systématiquement informés de toutes les défaillances du véhicule dans sa conception routière. Nous considérons d'ailleurs une telle pratique comme normale.

Cependant, nous sommes avertis des événements les plus importants présentant un risque avéré ou potentiel vis à vis de la sécurité des voyageurs ou des tiers.

Nous évoquerons ici les événements les plus significatifs.

➤ Rupture support bielle de direction

En juillet 2003, à Nancy, la rupture d'un support de bielle de direction se produit en mode routier au départ d'une station à faible vitesse. Lors d'une telle rupture, le volant tourne dans le vide !

La rupture est imputée à la fatigue. L'exploitation est interrompue durant trois semaines. Ce modèle de support est spécifique à Nancy. Ils sont tous réparés et renforcés sur l'ensemble du parc.

Pas de nouvel incident de ce type

➤ Rupture des boulons de fixation moteur

En août 2006 à Nancy, la rupture de boulons de fixation du moteur électrique arrière entraîne son détachement partiel. L'analyse mettra en évidence un mauvais serrage des vis suite à l'oxydation importante des filets des vis.

Remplacement des vis par des vis à protection contre la rouille améliorée.

➤ Rupture d'un timon d'attelage

A Nancy, en juin 2007, lors de son retour en mode routier (en haut le pied) au dépôt, une rupture du timon d'attelage se produit entre les deuxième et troisième caisses.

Le véhicule avait été réparé un an auparavant à la suite d'une fausse manœuvre dans le dépôt.

L'analyse permettra de révéler un défaut de fabrication (ou un dommage lors du stockage) du timon de remplacement.

Évènement isolé dont la cause est bien identifiée, pas de suite donnée

➤ Éclatements de pneu

Deux éclatements de pneu sont intervenus, un sur chaque site avec une même cause : l'usure très importante du pneu.

- Caen : l'usure du flanc du pneu a pour cause le frottement contre les bordures en station. L'éclatement du pneu provoque une projection assez violente de la jupe.

- Nancy : l'éclatement est la conséquence d'un défaut de maintenance, le remplacement programmé du pneu n'a pas été réalisé. L'explosion a provoqué une déformation de la plaque supérieure du passage de roue, partie en interface avec l'espace voyageur.

-

7) CONCLUSION

➤ Caractère routier du matériel roulant

Les défaillances constatées sur le matériel roulant hors système de guidage ne sont pas dans le périmètre couvert par les services de contrôle en application du décret STPG. Si nous en avons connaissance c'est sans doute parce que nous sommes identifiés comme interlocuteur privilégié.

Pour certaines d'entre-elles, le principe des visites de contrôle technique périodiques au titre du Code de la Route représente une réponse adaptée. Pour les autres, la réponse se trouve dans les procédures de maintenance et l'intervention du constructeur.

➤ Le système de guidage

Après une période initiale de début d'exploitation, durant laquelle la technique innovante a pu être considérée comme incomplètement maîtrisée par le constructeur, sa forte implication dans la résolution des défaillances ultérieures nous permet de penser que la sécurité du système de guidage des TVR de Caen et Nancy dispose d'un niveau satisfaisant.

Il reste que la bonne exécution des opérations de maintenance demeure un impératif incontournable pour le maintien de ce niveau de sécurité.

➤ Mauvaises insertions

Les dérives des véhicules lors des mauvaises prises de guidage sont des événements survenant à basse vitesse (5 km/h) et en espace réservé. La sécurité des voyageurs ou des tiers n'est pas compromise.

Une amélioration des zones de droppage doit toutefois pouvoir être recherchée notamment pour celles situées en section courante.

➤ Pertes de guidage en section courante

Les pertes de guidage en ligne sont plus préoccupantes. Un nettoyage de la plateforme aussi rigoureux soit-il, ne permettra pas d'éviter un acte de malveillance.

L'étude par le constructeur d'un dispositif de chasse obstacle représente une piste. Reste à suivre son développement pour voir s'il s'agit d'une solution adaptée.

Il existe aujourd'hui un exemple comparable avec le guidage du constructeur Lohr Industrie qui donne satisfaction.

Le 12 février 2010

Le responsable de la division tramway

Michel ARRAS

Annexe 5

Principales données relatives aux réseaux TCU de Nancy et Caen

		Nancy	Caen
Agglo	Intercommunalité	258 414 hb, 142,3 km ²	223 106, hb 184,69 km ²
	Ville-centre	105 468 hb, 15 km ²	110 399 hb , 25,7 km ²
	Aire urbaine	415 765 hb, 1 822,9 km ²	384 578 hb, 1 596,7 km ²
AOTU, réseau TCU	AOTU	Communauté urbaine du Grand Nancy	Syndicat Mixte des Transports en Commun de l'Agglomération Caennaise (Viacités)
	Délégataire	Veolia (en renouvellement)	Keolis
	Nombre de voyages / an sur le réseau	25,3 millions de voyages/an	26,8 millions de voyages/an
	Nombre de voyages / an sur le TCSP	10 millions de voyages :an soit 39 % du réseau	12,3 millions de voyages :an soit 46 % du réseau
	Dépenses de fonctionnement	50 M €	40,5 M €
	Recettes du réseau	18,4 M €	20 M €
	Taux de couverture	39,80%	45,70%
TCSP	Longueur commerciale du TCSP	11 km	14,8 km
	Longueur commerciale en mode guidé du TCSP	60%	100%
	Nombre de rames TVR	25	24
	Production kilométrique du parc TVR	1 M km/an	1,3 M km :an
	Durée du trajet		38 mn en moyenne
	Vitesse commerciale		15,6 km/heure
	Coût initialement prévu	1377 M F	931 M F
	Subvention initiale de l'État	22 M €	40,8 M €
TVR	Mise en service	Inauguration en décembre 2000 puis arrêt d'exploitation de mars 2001 à mars 2002	17/11/02
	Incidents majeurs	12 pertes de guidages de mai 2002 à novembre 2003	
	Fin du 1 ^o rétrofit des véhicules	Mi-2005	

Annexe 6

Synthèse des procédures de sécurité relatives aux cas évoqués par le présent rapport

		Procédures	
		Au titre des transports guidés (Décret modifié STPG 2003)	Au titre de l'homologation des véhicules routiers (Code de la Route)
Poursuite de l'exploitation TVR	A titre général	Dossier de sécurité régularisé à déposer avant mai 2010, le TCSP ayant été mise en service avant 2003 et n'ayant donc pas fait l'objet de la procédure explicitement prévu pour les nouveaux transports guidés	Sans objet
	Suivi annuel	Signalement au cas par cas des incidents majeurs et rapport annuel d'exploitation	Contrôle technique semestriel
	Retrofit avec modification du guidage	Selon la consistance du retrofit, procédure allégée ou complète pour le système de guidage et ses interfaces (DPS...)	Aucune si le retrofit ne touche que les aspects relatives au guidage
	Grande révision	Aucune si la grande révision laisse le guidage et ses interfaces à l'identique	Contrôle technique si la grande visite
Retrait des véhicules TVR	Remplacement par BHNS non-guidé	Sans objet	En général homologation du type par le constructeur
	Remplacement par BHNS guidé	Procédure classique pour le système de guidage et ses interfaces : DPS...	En général homologation du type par le constructeur
	Remplacement par Tramway sur rail	Procédure classique : DPS...	Sans objet
	Remplacement par Translohr	Procédure classique : DPS...	Sans objet

Annexe 7

Quelques données de coûts sur les transports guidés (données opérateurs)

Coûts d'exploitation au km (données 2006) en France métropolitaine

Les coûts d'exploitation varient largement d'une AOTU à l'autre (d'un réseau à l'autre) selon : la vitesse commerciale moyenne⁵¹ d'un réseau laquelle est liée à la taille de l'AOTU et du type de desserte (urbain, suburbain) et du type d'exploitation (site propre, service express...), des conditions salariales locales (convention collective) et plus généralement du contexte local (niveau qualitatif du mode dans le réseau considéré, productivité du réseau, concurrence)...

Il faut en outre bien s'entendre sur le périmètre des coûts :

On rappellera tout d'abord que :

- coûts d'exploitation du mode = coûts d'opération (consommables, énergie, salaire conducteur....) + coûts de maintenance du matériel roulant + coûts d'entretien des installations fixes (infra dont site propre et alimentation + dépôt).

- le coût au km est la somme des coûts d'exploitation affectés au mode divisés par les km parcourus par le mode : il s'agit d'un indicateur qui doit être rapproché d'autres indicateurs comme le coût au voyage...

- les coûts ci-dessous comprennent :

bus : le personnel de conduite soit de 45 à 55 %, la maintenance (y compris nettoyage et gardiennage) à soit 15 à 20 %, l'énergie soit 8 à 10 %, les fonctions commerciales (ventes de titres y compris personnel), le personnel administratif et de contrôle (hors commercial), l'assurance flotte, les charges de structure exploitation et autres charges,

tramway : le personnel de conduite soit de 27 à 40 %, la maintenance (y compris nettoyage et gardiennage) soit 30 à 45 %, l'énergie soit 5 à 8 %, les fonctions commerciales (ventes de titres y compris personnel) le personnel administratif et de contrôle (hors commercial) l'assurance flotte, les charges de structure exploitation et autres charges,

mais hors amortissements, frais de structures au-dessus de l'exploitation et marge de l'opérateur,

Ce préambule justifie que l'on donne, de préférence, des fourchettes de coûts plutôt qu'un coût moyen.

Mode	Coût d'exploitation au km
Autobus	De 3,5 à 5 € du km
Tramway sur fer ou sur pneu	De 7 à 9,5 € du km

51 D'un mode.

Coûts d'investissement au km (données 2008) en France métropolitaine

Les mêmes précautions que précédemment doivent être énoncées en préambule.

Les coûts d'investissement varient largement d'une AOTU à l'autre (d'un réseau à l'autre) selon : le niveau qualitatif visé (ex. revêtement de surface), les conditions de concurrence, les difficultés de réalisation des chantiers (ex. cas de la Région Parisienne) et plus généralement le contexte local.

Il faut en outre bien s'entendre sur le périmètre des coûts :

- coûts d'investissement du mode = coûts d'investissement de l'infrastructure courante (chaussée, alimentation, signalisation...) dans la limite du GLO + coûts du dépôt + coûts d'investissement du matériel roulant,
- mais hors aménagements des espace public hors GLO (mur à mur), centres d'échanges multimodaux, parkings relais....
- le coût au km est la somme des coûts d'exploitation divisés par les km parcourus par le mode,

Mode	Coût d'investissement au km
BHNS (type Busway à Nantes)	4 à 4,5 M € du km
BHNS guidé (type Teor à Rouen)	+ 5 %
Eveole (Phileas) à Douai	+ 15 %
Trolleybus	+ 55 %
Tramway fer	14 à 15 M€ du km soit X 3,5 ou + 350 %

En matière de tramway sur fer, l'exemple le plus coûteux connu en France est le tramway de Nice (30 à 40 M€ du km y compris espaces publics) qui a cumulé : i) la nécessité de fouilles archéologiques, ii) des espaces publics d'un haut niveau qualitatif (revêtement de sol, œuvres d'art), iii) un dépôt/parking⁵² relais en élévation dans un site très contraint, iv) une partie du parcours sans fil (mode autonome du tramway sur plusieurs centaines de mètre).

C. Bourget le 29 mars 2010

52 # 70 M € pour 25 M€ en terrain favorable

Annexe 8 (document Bombardier de mai 2010))

MODERNISATION DES TRAMWAYS BOMBARDIER SUR PNEUS (TVR) A CAEN ET NANCY

Au-delà de la maintenance courante et des programmes réguliers de gros entretien et renouvellement (GER), le projet vise à moderniser les 49 rames actuelles à Caen (24) et/ou Nancy (25), qui ont des configurations techniques légèrement différentes.

Si cette modernisation se fait hors production de nouveaux véhicules, le planning de réalisation sera étendu afin de limiter l'impact sur la disponibilité.

Le scénario de base envisagé est de deux véhicules traités en même temps de la même flotte, dans un atelier spécifique et dans un délai inférieur à quatre années, à partir d'une décision de la collectivité formalisée et contractualisée avec ses concessionnaires ou l'opérateur.

Trois scénarii alternatifs ont été étudiés. Par rapport au scénario de base :

- le premier permettrait de retenir un véhicule de chaque collectivité en même temps pour optimiser la disponibilité, avec un délai de réalisation supplémentaire mais aussi un coût amélioré ;
- le second consisterait à ne retenir qu'un véhicule à Caen ou Nancy pour optimiser la disponibilité de la collectivité intéressée mais l'impact serait négatif sur les coûts et le calendrier de réalisation ;
- et le troisième serait de retenir à Caen la modernisation des véhicules en parallèle avec la production de véhicules neufs.

Un projet commun à Caen et Nancy favorise en effet les synergies et permet de développer une approche industrielle en atteignant une taille critique.

Un tableau récapitulatif des frais fixes et variables des différents scénarii ainsi que les plannings associés se trouve en annexe.

Tous les prix mentionnés ci-après sont estimatifs au 21 mai 2010 et révisables.

Les frais fixes du scénario de base (deux véhicules identiques à Caen ou Nancy) correspondent notamment à l'ingénierie, la gestion de projet et la structure achats, qui étaient jusqu'à présent intégrés dans les frais fixes des véhicules neufs. Ils sont estimés à 2,5 millions € HT.

Les prix détaillés ci-après dans la note sont donc les coûts variables complémentaires par véhicule, globalement de 743 000 € HT (cumul de tous les items des trois premiers paragraphes) et présentés dans le cadre de ce scénario.

Cette démarche de modernisation vise essentiellement à améliorer l'exploitation et la maintenabilité des rames, tout en modernisant leur esthétique.

1) L'amélioration de l'exploitation des véhicules (sécurité et confort des voyageurs)

Plusieurs pistes sont poursuivies en relation avec les attentes de la collectivité, de l'opérateur, des conducteurs et/ou des voyageurs (prix total HT par véhicule : **320 K€**).

- **Supports d'information du véhicule** : afficheurs remplacés par des plans dynamiques de

ligne à l'intérieur du véhicule et remplacement des afficheurs extérieurs à pastilles par un affichage LED, pour moderniser et améliorer la qualité de l'information des passagers. Prix HT par véhicule : **56 000 €**.

➤ **Wi-fi** : installation de relais dans le véhicule offrant aux passagers un accès permanent à Internet. Prix HT par véhicule : **21 000 €**.

➤ **Supervision des quais par caméras** : au-delà des rétroviseurs existants, mise en place de deux caméras (avant et arrière du véhicule) permettant aux conducteurs de gérer dans de meilleures conditions de sécurité et avec une meilleure visibilité, les montées et descentes de voyageurs. Prix HT par véhicule : **40 000 €**.

➤ **Rénovation de la cabine avant** : dégagement des vitres latérales pour augmenter la visibilité du conducteur (déplacement des caissons à droite et à gauche de la cabine, sous le tableau de bord) et donc la sécurité. Intégration des nouveaux équipements (caméras, informations voyageurs...). Prix HT par véhicule : **114 000 €**.

➤ **Soufflets intercaisses** : suppression de l'espace entre le quai et les intercaisses existantes, visant à améliorer la sécurité des passagers sur le quai. Prix HT par véhicule : **54 000 €**.

➤ **Sièges** : modification de la répartition des sièges, suppression des cloisons intérieures et remplacement des strapontins par des assis-debout pour améliorer la fluidité de circulation des personnes à l'intérieur du véhicule, de manière à se rapprocher de la capacité maximale voire à l'atteindre, sous réserve des contraintes de charge à l'essieu. Prix HT par véhicule : **31 000 €**.

➤ **Porte-bagages** : dégagement de l'espace au sol et éviter l'installation de personnes sur les passages de roues. Mise en place de quatre racks à bagages au-dessus des passages de roues (essieux 2 et 3). Prix HT par véhicule : **4 000 €**.

2) L'amélioration de la maintenabilité des véhicules (optimisation de la maintenance opérationnelle au-delà du « nouveau » dépôt)

Les items identifiés les plus porteurs pour les acteurs de la maintenance et assurer ainsi la pérennité du matériel dans les années à venir (prix total HT par véhicule : **248 K€**) reposent sur :

- 1) **Modernisation de la chaîne de traction hors motorisation** : remplacement du contrôle commande pour onduleurs de traction et auxiliaires, afin d'optimiser l'aide au diagnostic et faciliter la gestion de l'obsolescence électronique comme la disponibilité des composants. Prix HT par véhicule : **96 000 €**.
- 2) **Modernisation de l'unité de contrôle du tram** : création d'outils d'aide au diagnostic, interface homme/machine plus conviviale, gestion de l'obsolescence, amélioration de la capacité mémoire du PLC et de la durée de conservation des informations. Prix HT par véhicule : **66 000 €**.
- 3) **Contrôle de pression des pneus** : information directe du conducteur de la pression des pneumatiques par le module d'affichage, qui l'alertera sur les évolutions anormales de leur pression pour minimiser la gêne des voyageurs. Ce contrôle améliore la sécurité, permet de supprimer le système anti-affaissement (bande de caoutchouc dans la jante qui permet de rouler pneus à plat), diminue le poids du véhicule et prolonge la durée de vie des pneumatiques. Prix HT par véhicule : **23 000 €**.
- 4) **Corrosion sous châssis** : traitement de l'oxydation sous châssis par rapport aux pollutions salines, également justifié par les difficultés d'accès et de nettoyage. Prix HT par véhicule : **10 000 €**.

- 5) **Pédale d'accélération du conducteur** : organe fragile et de maintenance difficile à changer et interfacer avec la propulsion pour améliorer la gestion de la traction. Versions différentes à Caen et Nancy. Prix HT par véhicule : **4 000 €**.
- 6) **Serrures** : remplacement des serrures actuelles (cabine conducteur et voussoirs) qui sont délicates à maintenir par des modèles quart de tour type SNCF. Prix HT par véhicule : **8 000 €**.
- 7) **Alimentation 24V** : nouvelle architecture visant à dissocier les pannes d'un essieu à l'autre et donc les isoler, ce qui facilite le diagnostic et l'intervention. Prix HT par véhicule : **19 000 €**.
- 8) **Système de lubrification embarqué** : lubrification commandée par le système d'aide à l'exploitation (SAE), afin de mieux cibler la distribution de la lubrification. Prix HT par véhicule : **22 000 €**.

3) La modernisation de l'esthétique des véhicules

Le renouveau des lignes 1 doit pouvoir être clairement identifié par les habitants comme par les élus.

Une réflexion est proposée sur le « look » des véhicules. Le prix total HT par véhicule est de **175 K€**, avec :

- **nouvelle livrée** : peinture complète et changement de design extérieur du véhicule avec reprise et évolution des peintures extérieures. Prix HT par véhicule : **76 000 €**.
- **nouveau nez de cabine** : modification de l'aspect avant du véhicule, dans la limite des contraintes techniques. Prix HT par véhicule : **29 000 €**.
- **vitres teintées** : confort visuel et amélioration du confort thermique pour les passagers ; amélioration de l'esthétique du véhicule. Prix HT par véhicule : **70 000 €**.

4) Autres propositions

➤ **Chasse-obstacles** : si ce nouveau dispositif est validé et homologué, amélioration de la sécurité dans le cas de vandalisme par insertion de corps étranger dans la gorge du rail. Prix HT par véhicule : **20 000 €**.

- 9) **Remplacement de la chaîne de traction hors motorisation** : changement de toute la chaîne de traction, avec très sensible amélioration du diagnostic et gain de poids. Prévoir une double isolation à Nancy (alimentation par perches). Cette option se substitue à la modernisation de la chaîne de traction (cf. 2.1). Le prix HT par véhicule est de **280 000 €**.

Valeurs estimatives mai 2010 prix révisables (En K€)	Scénario 1 : 2 TVR d'une même flotte en parallèle	Scénario 2 : 1 TVR Caen + 1 TVR Nancy en parallèle	Scénario 3 : 1 seul TVR et 1 seule flotte	Scénario 4 : TVR Caen combinés avec de nouveaux TVR
Nombre de véhicules	24 ou 25	49 (24 et 25)	24 ou 25	24
Frais fixes	2 500	4 000	2 500	inclus dans les frais fixes des nouveaux TVR
Prix variables/TVR	743	717	817	721
Exploitation	320	305	351	303
Supports d'information	56	55	62	53
Wi-Fi	21	19	23	20
Supervision des quais par caméras	40	39	44	38
Rénovation de la cabine avant	114	107	125	108
Soufflets intercaisses	54	52	59	51
Sièges	31	29	34	29
Porte-bagages	4	4	4	4
Maintenabilité	248	243	273	243
Modernisation chaîne de traction	96	94	106	96
Modernisation unité de contrôle du tram	66	67	73	63
Contrôle de pression des pneus	23	20	25	22
Corrosion sous châssis	10	10	11	10
Pédale d'accélération du conducteur	4	4	4	4
Serrures	8	9	9	8
Alimentation 24V	19	18	21	19
Système de lubrification embarqué	22	21	24	21
Esthétique	175	169	193	175
Nouvelle livrée	76	76	84	76
Nouveau nez de cabine	29	26	32	29
Vitres teintées	70	67	77	70
Autres				
Chasse-obstacles	20	20	22	20
Remplacement chaîne de traction	280	275	308	280
Premier véhicule	NTP + 19 mois	NTP+ 19 mois	NTP+ 19 mois	NTP+ 29 mois
Dernier véhicule	NTP + 44 mois	NTP + 69 mois	NTP + 63 mois	NTP + 43 moi

NTP : Notice To Proceed - Commande validée

COÛTS COMPARÉS SYSTÈMES TRAMWAY

Hypothèses : Ligne de tramway de 14 km, électrifiée et guidée, 2 zones de service provisoire, 20 Matériels Roulants et dépôt guidé et électrifié			
PRESTATIONS (hors G.L.O non compris)	TRAMWAY SUR FER	TRANSLOHR	ECART EN FAVEUR DU TRANSLOHR
	en millions d'€/km		
Etudes-Maîtrise d'Oeuvre	0,638	0,421	0,217
Installations de chantier	0,300	0,200	0,100
Plateforme complète avec voie de guidage	4,200	2,000	2,200
Génie Civil (stations voyageurs, sous-stations, massifs LAC)	0,400	0,350	0,050
Equipements électriques : Sous-stations et LAC	1,000	1,000	0,000
Signalisation ferroviaire	0,400	0,400	0,000
Dépôt complet	1,071	0,714	0,357
SAE-SIV	0,600	0,600	0,000
TOTAL en millions d'€ (hors Matériels Roulants)	8,609	5,685	2,924
ECONOMIE EN % (hors Matériels Roulants)			34,0%
Matériels roulants (et prestations associées)	3,571	3,571	0,000
TOTAL en millions d'€ (avec Matériels Roulants)	12,181	9,257	
ECONOMIE EN % (avec Matériels Roulants)			24,0%



"LOHRISATION" DES LIGNES 1 DE TRAMWAY DE NANCY ET DE CAEN

Introduction

Hypothèses d'étude

La présente note est établie à partir des données communiquées par VEOLIA pour NANCY et par SYSTRA pour CAEN.

Il est considéré que les éléments en interface avec le matériel roulant, plateforme, SIGF, SIGR, énergie de traction, etc., actuellement en exploitation, sont d'un niveau de sécurité satisfaisant au regard des exigences des services de l'Etat Français.

Les travaux à réaliser parmi les possibilités proposées devront être choisis en fonction des contraintes propres à chaque projet.

Acronymes

TVR	Matériel Roulant de Bombardier
GLO	Gabarit limite d'obstacle

Contexte				
	Système Translohr	Commentaires	CAEN - ligne 1	NANCY - ligne 1
Description	Translohr : véhicule guidé en permanence à traction électrique. Le guidage permanent permet l'utilisation de rames bidirectionnelles et l'augmentation de la longueur (conception modulaire 3 à 6 caisses passager). Le véhicule s'exploite comme un tramway (conduite plus simple qu'un véhicule bi-mode)	Le système TVR en mode guidé et le système Translohr partagent des aspects technologiques communs. en particulier ce qui concerne les interfaces avec les infrastructures.	TVR : véhicule bi-mode unidirectionnel composé de 3 caisses passagers. Guidage mécanique sur l'ensemble de la ligne d'exploitation. Absence de guidage entre le dépôt et la ligne et au dépôt. Alimentation par caténaire.	TVR : véhicule bi-mode unidirectionnel composé de 3 caisses passagers. Guidage mécanique partiel sur la ligne d'exploitation. Absence de guidage entre le dépôt et la ligne et au dépôt. Alimentation par perche. Stations type bus (sections routières).

Lohrisation				
	Comparaison des systèmes	Commentaires	Changement TVR ->Translohr - CAEN Ligne 1	Changement TVR ->Translohr - NANCY Ligne 1
Insertion	Le GLO du véhicule Translohr est inférieur au GLO du TVR Translohr : Capacité de franchissement des pentes à 13% Mode guidé (Translohr et TVR) : véhicule mono-trace Mode routier (TVR) : véhicule non mono-trace	La capacité d'insertion du Translohr permet d'envisager des extensions de réseau	Insertion Translohr possible sans modification	Insertion Translohr possible sans modification
Plateforme	La charge à l'essieu du Translohr est inférieure à celle du TVR	En fonction de l'état de la plateforme, des remises en état pourront être nécessaires, s'il y a lieu, au droit des stations, il conviendra d'utiliser de préférence le béton	Plateforme réutilisable	Plateforme réutilisable
Rail de guidage	Le profil du rail Translohr s'inscrit dans celui du TVR Efforts d'exploitation sur le rail Translohr inférieurs aux efforts d'exploitation TVR	Les caractéristiques de fixation du rail TVR sont à déterminer avec précision dans le cas de la réutilisation	Adaptation du profil de rail par meulage OU remplacement du rail	Adaptation du profil de rail par meulage OU remplacement du rail

Lohrisation				
	Comparaison des systèmes	Commentaires	Changement TVR ->Translohr - CAEN Ligne 1	Changement TVR ->Translohr - NANCY Ligne 1
Plateforme routière	Le TVR peut être exploité sans infrastructure de guidage sur des itinéraires définis ce qui n'est pas possible avec le Translohr	Guidage temporaire : souplesse d'exploitation en mode dégradé mais service aux usagers moins performant du fait des changements de mode à vitesse réduite, de la capacité de chargement limitée par la longueur max des véhicules routiers et de la fatigue des composants de guidage menant à une disponibilité moindre et une augmentation des coûts de maintenance.	Pose de rail Translohr entre la ligne et le dépôt	Pose de rail Translohr sur les sections de ligne non équipées Pose de rail Translohr entre la ligne et le dépôt
Appareil de voie	Emprises similaires.	Création de services partiels possible avec Translohr bidirectionnel	Changement de l'appareil de voie	Changement de l'appareil de voie
SIGR	Technologies identiques qui n'est pas liée au matériel roulant sur pneumatique	Infrastructures à adapter si STE4	Réutilisable moyennant adaptation des interfaces MR	Réutilisable moyennant adaptation des interfaces MR
SIGF	Technologies identiques qui n'est pas liée au matériel roulant sur pneumatique	Infrastructures à adapter si STE4	Réutilisable moyennant adaptation des interfaces MR	Réutilisable moyennant adaptation des interfaces MR
Stations	La hauteur de quai pour le TVR est légèrement supérieure à la hauteur quai pour le Translohr Longueur du Translohr STE3 (25 m) est équivalente à la longueur du TVR (24,5 m)	La compatibilité des longueurs de quai en cas de STE4 est à vérifier Quais centraux possibles avec Translohr bidirectionnel car portes de chaque côté	Adaptation du bord de quai	Adaptation du bord de quai Création station tram sur les sections routières
LAC	Possibilité d'équiper le TVR et le Translohr de perches (véhicules unidirectionnels) ou de pantographe	Les caractéristiques d'isolation, de continuité, d'équipotentialité du rail doivent être vérifiées dans la cas du retour de courant par le rail.	LAC simple fil existante utilisable	Modification de la LAC double fils OU Translohr unidirectionnel avec perches Ajout de LAC sur les section routières
Energie de traction	Besoin énergétique similaire	Compatible avec Translohr STE4 adapté La capacité des sous-stations est à vérifier en fonction du programme d'exploitation prévu	Compatible avec Translohr STE3	Compatible avec Translohr STE3 Ajout de sous-stations pour les portions routières
Dépôt	Besoin similaire en termes de maintenance : - Outillage atelier - Compétence des équipes de maintenance	Le guidage en dépôt permet de fortement réduire l'emprise foncière du dépôt. Une source d'énergie embarquée sur le Translohr (type super capacité / batterie) permet de ne pas électrifier le dépôt Prévoir le dépôt (aire des remisage, taille des ateliers) si évolution du matériel roulant (STE4)	Electrification Pose de rail et AdV	Electrification Pose de rail et AdV

Budget estimatif (HT en €)

8 à 10 M€ par km

8 à 10 M€ par km

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

**Présent
pour
l'avenir**

Conseil général de l'Environnement
et du Développement durable

7^e section – secrétariat général

bureau Rapports et Documentation
Tour Pascal B - 92055 La Défense cedex
Tél. (33)01 40 81 68 12/45