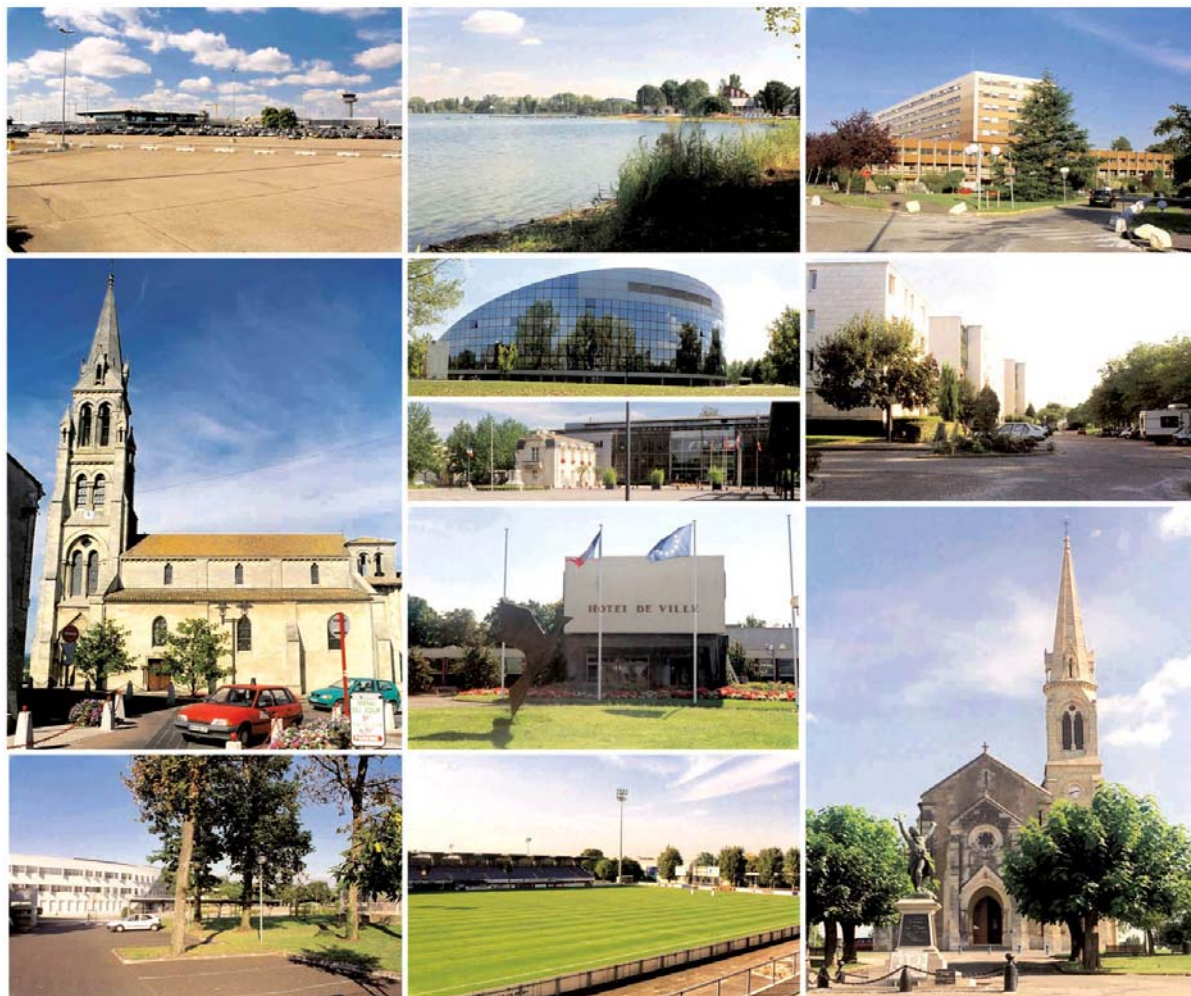


## *ETUDE DE FAISABILITE DES EXTENSIONS DU RESEAU COMMUNAUTAIRE DE TCSP (3ème PHASE)*



### *RAPPORT ANNEXE – Etape 2*

## **PRESENTATION DES SYSTEMES DE TRANSPORT**

Août 2004

# SOMMAIRE

## SOMMAIRE

|           |                                                      |          |
|-----------|------------------------------------------------------|----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUCTION.....</b>                             | <b>2</b> |
| <b>2.</b> | <b>PRESENTATION DES DIFFERENTS SYSTEMES .....</b>    | <b>3</b> |
| 2.1       | LE TRAMWAY FERROVIAIRE CLASSIQUE.....                | 3        |
| 2.1.1     | Caractéristiques principales.....                    | 3        |
| 2.1.2     | Caractéristiques techniques d'insertion.....         | 9        |
| 2.1.3     | Fiabilité et risques technologiques .....            | 10       |
| 2.1.4     | Coûts d'investissement et d'exploitation.....        | 10       |
| 2.1.5     | Les agglomérations françaises qui l'ont retenu ..... | 11       |
| 2.1.6     | Domaine de pertinence .....                          | 11       |
| 2.2       | LES SYSTEMES A GUIDAGE MATERIEL .....                | 12       |
| 2.2.1     | Caractéristiques principales.....                    | 12       |
| 2.2.2     | Caractéristiques techniques d'insertion.....         | 18       |
| 2.2.3     | Fiabilité et risques technologiques .....            | 19       |
| 2.2.4     | Coûts d'investissement et d'exploitation.....        | 21       |
| 2.2.5     | Les agglomérations qui l'ont retenu .....            | 23       |
| 2.2.6     | Domaine de pertinence .....                          | 23       |
| 2.3       | LES SYSTEMES A GUIDAGE IMMATERIEL.....               | 24       |
| 2.3.1     | Caractéristiques principales.....                    | 24       |
| 2.3.2     | Caractéristiques techniques d'insertion.....         | 29       |
| 2.3.3     | Fiabilité et risques technologiques .....            | 30       |
| 2.3.4     | Coûts d'investissement et d'exploitation.....        | 31       |
| 2.3.5     | Les agglomérations qui l'ont retenu .....            | 32       |
| 2.3.6     | Domaine de pertinence .....                          | 32       |
| 2.4       | LES SYSTEMES ROUTIERS NON GUIDES .....               | 33       |
| 2.4.1     | Caractéristiques principales.....                    | 33       |
| 2.4.2     | Caractéristiques techniques d'insertion.....         | 36       |
| 2.4.3     | Fiabilité et risques technologiques .....            | 38       |
| 2.4.4     | Coûts d'investissement et d'exploitation.....        | 38       |
| 2.4.5     | Les agglomérations qui l'ont retenu .....            | 39       |
| 2.4.6     | Domaine de pertinence .....                          | 39       |

# *INTRODUCTION*

## **1. Introduction**

L'objet de ce rapport d'annexe est de présenter dans le détail les éléments de choix du ou des systèmes de transport pouvant équiper les projets issus de la 3ème phase TCSP.

Ont ainsi été pris en compte :

- le tramway standard
- les systèmes à guidage matériel (TVR, Translohr),
- les systèmes à guidage immatériel (Civis, Phileas),
- les systèmes routiers non guidés (bus, trolleybus).

Les systèmes plus capacitaires (métro, VAL) n'ont pas été considérés compte tenu de la gamme de trafic à laquelle ils s'adressent et des capacités financières de l'agglomération vis-à-vis de ce type de projet, généralement envisagé sur des agglomérations millionnaires.

Pour chaque tracé identifié et au sein de chaque corridor, le choix du système de transport doit constituer l'aboutissement d'une réflexion prenant en compte différents paramètres, parmi lesquels le potentiel de fréquentation attendu, les contraintes d'insertion et les coûts. La fréquentation sera toutefois un élément déterminant du choix des systèmes.

Parallèlement à cette réflexion, une question essentielle sera de savoir quels systèmes de transport pourront réellement être envisagés, compte tenu de l'état du marché et des risques technologiques des systèmes « innovants » situés entre les systèmes bus et tramway classiques, mais aussi et surtout compte tenu de l'existence du tramway classique dans le réseau urbain communautaire.

# *PRESENTATION DES SYSTEMES*

## **2. Présentation des différents systèmes**

### **2.1 Le tramway ferroviaire classique**



*Le Citadis à Bordeaux (Alstom)*



*L'Incentro à Nantes (ADtranz - Bombardier)*

#### **2.1.1 Caractéristiques principales**

*Le tramway est bien connu à Bordeaux puisqu'il a été retenu pour équiper les 3 lignes fortes du réseau urbain. Plus précisément, c'est le Citadis d'Alstom qui a été choisi avec deux versions (30 et 40 mètres).*

##### **Concept général**

Les tramways modernes remplissent les fonctions suivantes : sécurité, confort, accessibilité à tous, capacité de transport, tout en offrant une image rassurante et

# PRESENTATION DES SYSTEMES

novatrice. Les industriels ont développés des gammes de produits conçues sur l'assemblage de modules de base constituant le véhicule et offrent ainsi une modularité permettant d'adapter chaque offre aux besoins spécifiques des agglomérations.

## Système de guidage

Le système de guidage des tramways fer est basé sur le contact roue / rail qui a pour avantage de limiter le niveau d'effort nécessaire à la transmission du mouvement (frottements très faibles) et pour inconvénient de disposer d'une adhérence limitée dans la transmission de cet effort.

## Matériel roulant

Les caractéristiques du matériel roulant circulant sur les lignes A, B et C du réseau de tramway bordelais sont rappelées ci-après.

|                                                                                                | <b>Citadis<br/>30 m</b> | <b>Citadis<br/>40 m</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Traction                                                                                       | Electrique – 750 V      |                         |
| Type de guidage                                                                                | Rails de roulement      |                         |
| Nombre de caisses                                                                              | 2                       | 3                       |
| Longueur                                                                                       | 32.9 m                  | 44 m                    |
| Largeur                                                                                        | 2,4 m                   |                         |
| Hauteur                                                                                        | 3,27 m                  |                         |
| Hauteur plancher par rapport au sol                                                            | 32 cm                   |                         |
| Vitesse maximale                                                                               | 70 km/h                 |                         |
| Accélération                                                                                   | 1.3 m/s <sup>2</sup>    |                         |
| Décélération                                                                                   | 1.3 m/s <sup>2</sup>    |                         |
| Freinage d'urgence                                                                             | 3 m/s <sup>2</sup>      |                         |
| Bidirectionnel                                                                                 | oui                     |                         |
| Durée de vie                                                                                   | 30 ans                  |                         |
| Possibilité de couplage                                                                        | oui                     |                         |
| Nombre de places total (4 p/m <sup>2</sup> )<br>dont places assises                            | 220<br>dont 48          | 300<br>dont 70          |
| Débit horaire sur la base d'une<br>fréquence de 4 minutes (par sens)<br>- à 4 p/m <sup>2</sup> | 3 300                   | 4 500                   |

De manière générale, la largeur minimale proposée par les différents constructeurs de tramway est d'environ 2.30 m, les autres largeurs standards étant 2.40 m, 2.50 m et 2.65 m.

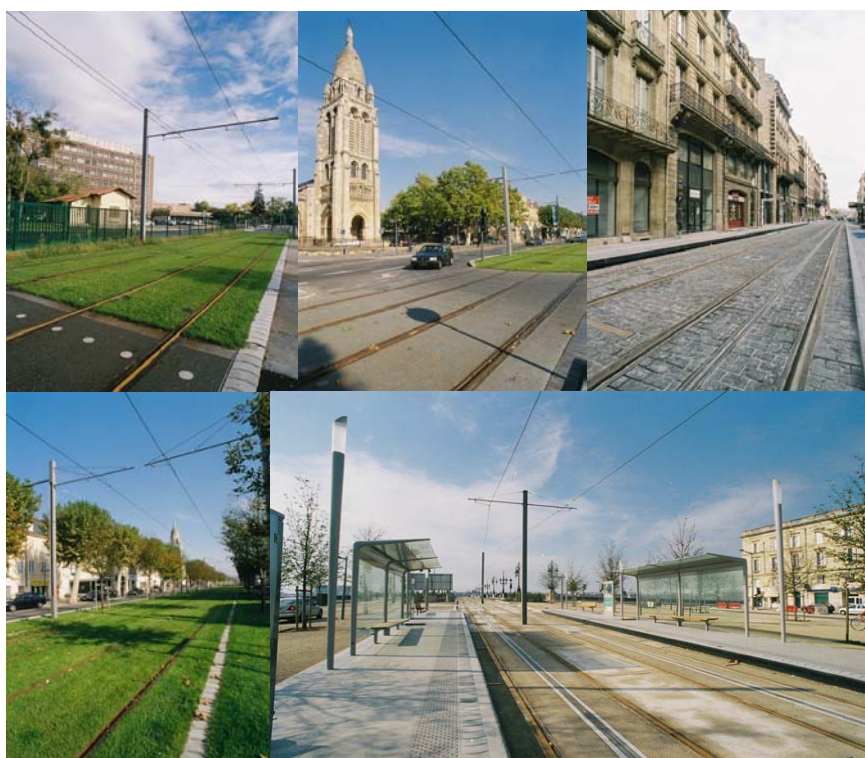
L'évolution du marché des tramways urbains a conduit les constructeurs à étudier des véhicules dont le concept général repose sur les principes suivants : plancher bas intégral avec articulations multiples, conception modulaire, personnalisation possible, évolutivité de la capacité de transport. Cette dernière peut en effet être augmentée au cours de la vie du véhicule sans diminuer les performances.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

L'accessibilité est un aspect qui a beaucoup évolué ces dernières années pour les tramways de nouvelle génération. En réponse aux nouvelles réglementations liées aux personnes à mobilité réduite, les hauteurs de seuil d'accès ont été abaissées, les lacunes entre quai et seuil de portes ont été réduites et l'on peut obtenir des valeurs de lacune de l'ordre de 32 mm en verticale et 25 mm en horizontale.

Le matériel roulant tramway est conçu pour une durée de vie de 30 ans, durée qui peut être prolongée facilement par des opérations de rénovation et de remise à niveau technique.

## Plate-forme, voie et revêtements



La plate-forme comporte les rails avec une pose adaptée au site, des conduits multitubulaires et un revêtement de surface spécifique pour tenir compte des rails et des circulations du tramway.

**Les possibilités de revêtement sont larges** (engazonnée, pavés, asphalte, ballast, béton....).

*Quelques exemples de revêtements choisis pour le tramway de Bordeaux*

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## Alimentation en énergie

### *1/ Alimentation classique par LAC*

L'alimentation en énergie se fait classiquement par l'intermédiaire de sous-stations réparties le long de la ligne et d'une ligne aérienne de contact (LAC) suspendue en règle générale à une hauteur de 6.2 mètres. Dans ce cas, le retour du courant s'effectue par les rails. La LAC est portée par des transversaux, fixés soit à des crochets d'ancrage scellés dans la façade des immeubles, soit à des poteaux centraux ou latéraux intégrés à la plateforme.



*Ancrage Poteau axial*



*Ancrage Poteaux latéraux*

### *2/ Alimentation par le sol (APS)*

A Bordeaux, un système innovant d'alimentation par le sol a été mis en place sur certaines sections des lignes de tramway (10 km en 1<sup>ère</sup> phase, 3 à 4 km prévus en 2<sup>ème</sup> phase). Développé par Innorail, ce système permet au tramway de s'affranchir de la ligne aérienne de contact et de ses supports.

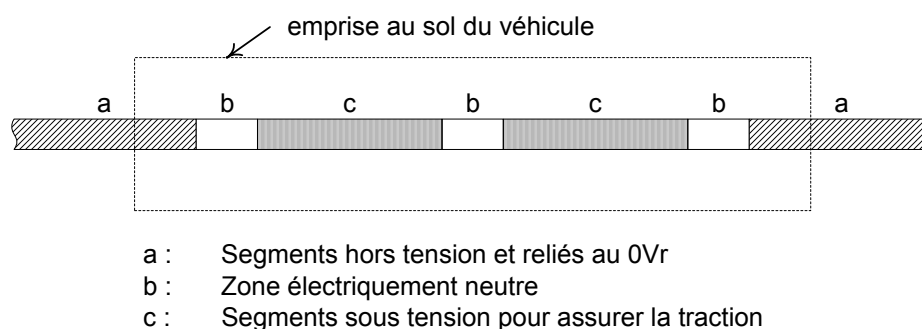
Outre l'avantage esthétique permettant au tramway de s'insérer dans des quartiers historiques classés sans aucun impact visuel, cette solution présente également un avantage technique en terme d'insertion dans la mesure où elle s'affranchit des poteaux supports des LAC (réduisant ainsi l'emprise de la plateforme) et où elle diminue sensiblement le poids du système global, ce qui présente un intérêt notable en cas de passage sur des ouvrages d'art (pont en particulier).

# PRESENTATION DES SYSTEMES



*Le Pont de Pierre à Bordeaux – système d’alimentation par le sol (3ème rail central)*

Le principe repose sur la mise en place d’un troisième rail faits de tronçons conducteurs de huit mètres (a et c), reliés à la terre, et séparés par des tronçons isolants de trois mètres (b).



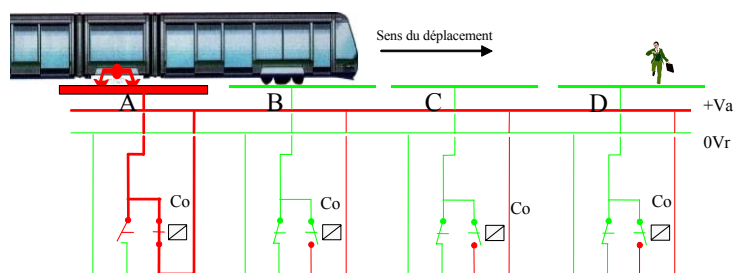
C’est la rame elle-même, via un signal radio, qui déclenche la mise sous tension à son passage. Seuls les segments situés sous l’emprise au sol du véhicule peuvent être mis sous tension pour assurer la traction comme le montrent les schémas ci-après. Le retour de courant s’effectue par les rails de roulement. Dans ce cas, les parties conductrices au sol sont enfermées dans un système protégé par le véhicule et inaccessible.

**En dehors du passage du tramway, aucune électricité ne circule dans le rail, tous les segments sont mis hors tension et le système est sans danger pour les piétons.**

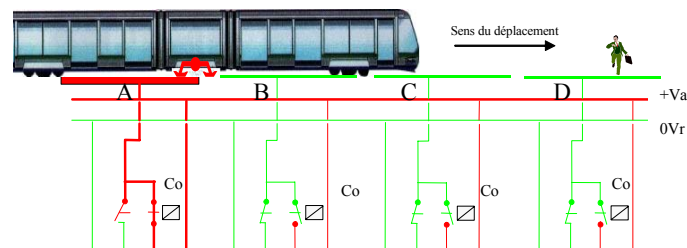
La commande de mise sous tension et le contrôle de deux segments consécutifs sont effectués par des équipements au sol contenus dans des coffrets d’alimentation disposés

# PRESENTATION DES SYSTEMES

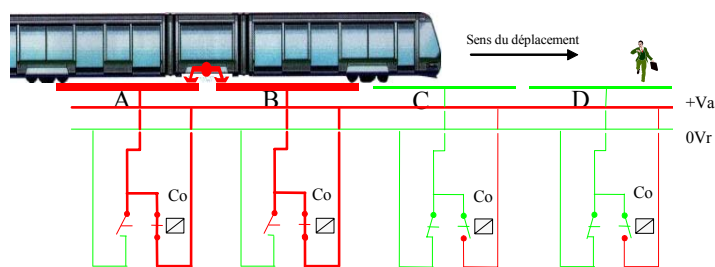
le long de la voie. Un circuit de contrôle permet de commander la disjonction immédiate vers les postes de redressement encadrant, après la détection d'un défaut engageant la sécurité. Une fois le poste de redressement hors service, le système permet d'isoler à distance le coffret défaillant. Une autonomie de secours embarquée sur le véhicule permet, en cas de nécessité, de redémarrer un véhicule arrêté sur une zone non alimentée.



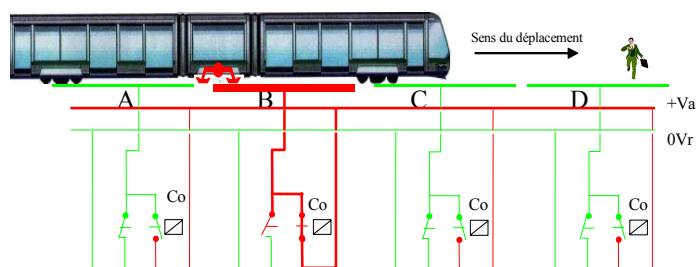
Etat 1 : Segment A sous tension et protégé par le véhicule



Etat 2 : Segment A sous tension. A et B protégés



Etat 3 : Segments A et B sous tension et protégés



Etat 4 : Segment B sous tension. A et B protégés

Homologué fin 2003 par le ministère des transports, ce système est en cours de mise au point finale sur les lignes du tramway bordelais.

## 3/ Comparaison des deux systèmes

Le système d'alimentation par le sol de l'énergie permet au matériel roulant de réaliser les mêmes performances (accélération, freinage, vitesse, ...) qu'en solution traditionnelle avec ligne aérienne de contact. Il présente un niveau de sécurité égal à celui offert par une LAC. Il offre également les mêmes caractéristiques d'exploitation, comme le démarrage des véhicules en tout point de la ligne, la compatibilité avec toutes les lignes de tramway, y compris en des points particuliers tels que les croisements et aiguillages.

L'avantage notable de l'APS par rapport à la LAC est de ne présenter aucune structure apparente du fait de son encastrement dans la plateforme. Il permet également de ramener l'encombrement d'un système tramway à son gabarit standard minimal et de libérer la voie publique de l'ensemble des obstacles aériens.

En revanche, **son coût est trois fois plus élevé qu'un système type LAC**, à raison de 1.5 M€ du kilomètre de voie double.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

A noter qu'à Bordeaux, le contrat passé avec Innorail prévoit que celui-ci assurera la maintenance du système pendant 10 ans.

## 2.1.2 Caractéristiques techniques d'insertion

Le tramway sur fer est un système entièrement monotrace. L'emprise en alignement droit pour une voie double dépend de la largeur du véhicule, de l'existence et de la localisation de poteaux caténaires.

A titre d'exemple, en alignement droit, hors poteaux caténaires, celle-ci est, en voie double de :

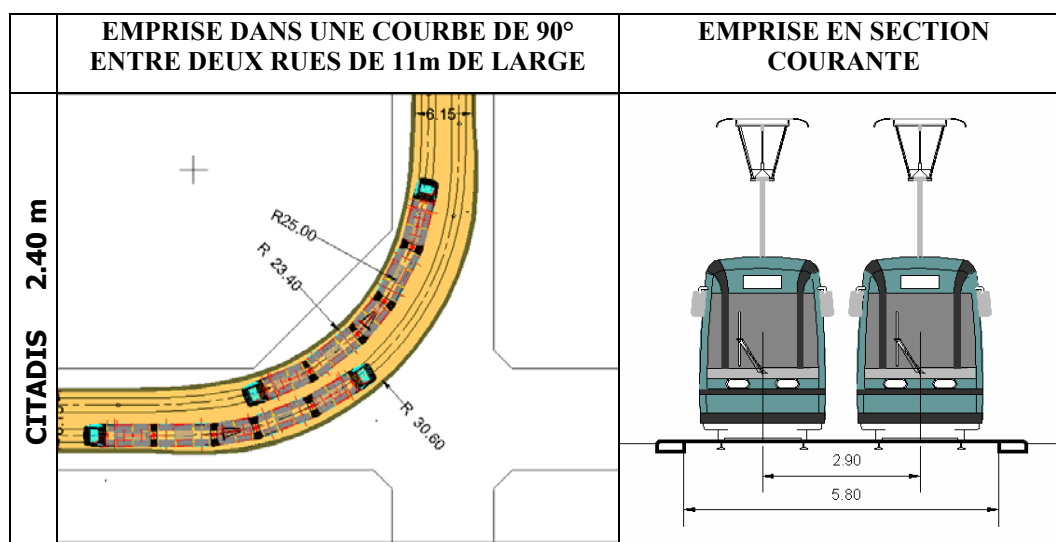
- **5.80 mètres pour un véhicule de 2.40 mètres de large** (exemple de Bordeaux) ;
- 6.30 mètres pour un véhicule de 2.65 mètres de large (exemple de Montpellier).

**Avec poteau caténaire central, ces largeurs sont augmentées de 40 cm.**

En courbe, l'emprise au sol augmente. Celle-ci dépend de l'architecture du matériel roulant (disposition des bogies et des articulations entre caisses). Pour une courbe de 25 mètres, elle peut varier entre 6.90 m et 7.70 m pour un véhicule de 2.40 m de large.

Le rayon de courbure minimum acceptable est de 25 mètres. Toutefois, sur Bordeaux, un rayon de 18 mètres a été proposé sur la ligne B (à l'angle de la rue Vital Carles). Cette configuration, si elle fonctionne, est toutefois à éviter car elle implique de fortes contraintes en matière d'exploitation (vitesse faible pour réduire le bruit et les efforts).

La pente théoriquement admissible est de 8 % ; toutefois il est couramment admis de ne pas dépasser 6 %.



# *PRESENTATION DES SYSTEMES*

## **2.1.3 Fiabilité et risques technologiques**

Le développement de gammes de tramway par les constructeurs et leurs stades de maturité respectifs réduisent considérablement les risques liés au choix de ce type de matériel roulant. Plusieurs technologies de pose de voie sont désormais disponibles et bien maîtrisées. Il en est de même pour l'alimentation par ligne aérienne.

L'alimentation par le sol développée par Innorail a été homologuée par le ministère des Transports et est en phase de consolidation à Bordeaux.

## **2.1.4 Coûts d'investissement et d'exploitation**

### **Coûts d'investissement**

Sur la base des projets récemment réalisés (mise en service après 2000), les coûts moyens unitaires pour l'investissement global sont de l'ordre de **20 M€ par kilomètre de ligne**.

Ce coût comprend le matériel roulant, les acquisitions foncières, les déviations de réseaux, l'infrastructure (reprise voirie, plateforme, mobilier et équipements urbains associés), les stations et bâtiments techniques d'exploitation, les équipements spécifiques tramway (voie ferrée, LAC, énergie, équipements d'exploitation), les ouvrages d'art, les opérations d'accompagnement (parcs relais, pôles d'échange, aménagements urbains), les ateliers garage, les frais de maîtrise d'oeuvre et maîtrise d'ouvrage.

**A Bordeaux, le coût moyen au kilomètre est un peu plus élevé que la moyenne, de l'ordre de 25 M€ par kilomètre de ligne.** Cet écart s'explique par un niveau de qualité élevé pour le mobilier urbain, le nombre important d'opérations connexes, l'utilisation de l'alimentation par le sol, l'intégration des itinéraires cyclables, etc.

**A Rouen et Strasbourg,** le coût a été fortement grevé par d'importants ouvrages d'arts avec un tunnel passant sous chaque gare. Le tramway de Strasbourg, premier à plancher bas intégral et au look futuriste a coûté plus cher qu'une rame de tramway classique (2,9 M€).

Les coûts unitaires de la part dite « fixe » du site propre (hors postes ponctuels tels que le matériel roulant, les acquisitions foncières, les ouvrages d'art, les opérations d'accompagnement, les ateliers garage, les frais de maîtrise d'oeuvre et d'ouvrage et aléas) sont de l'ordre de 10 à 15 M€ par kilomètre de ligne.

En ce qui concerne le **matériel roulant**, son coût dépend principalement de la longueur de véhicules et du mode d'alimentation (caténaire, sol, ...). Il est **compris entre 1.7 et 2.5 M€ la rame, soit en moyenne 8 500 à 9000 euros la place offerte**.

A Bordeaux, les Citadis ont été acquis pour 1.9 M€ pour la version 30 mètres, et 2.5 M€ pour la version 40 mètres, auquel il faut ajouter 0.1 M€ environ pour les équipements embarqués liés à l'APS.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## Coûts d'exploitation

Sur les réseaux français, les coûts d'exploitation unitaires sont de l'ordre de **6 € par kilomètre parcouru**. Ils comprennent les frais de maintenance préventive et corrective (matériel roulant et infrastructures), les frais du personnel pour l'exploitation (principalement les conducteurs) et la maintenance ainsi que la consommation d'énergie. Ils dépendent de la taille du réseau, des paramètres d'exploitation et du coût horaire de la main d'oeuvre.

### 2.1.5 Les agglomérations françaises qui l'ont retenu

De nombreuses agglomérations ont déjà opté pour la solution tramway sur fer afin de structurer et de redynamiser leur réseau de transport. Le tableau ci-après fait l'état des tramways existants en France<sup>1</sup>. Sont précisés pour chaque projet l'année de mise en service, la longueur de la ligne et la population du PTU :

| Agglomération    | Projet            | Mise en service | Longueur (km) | Population PTU |
|------------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------|
| Nantes           | ligne 1           | 1985            | 12.6          | 550 000        |
| Nantes           | ligne 2           | 1992            | 14.4          | 550 000        |
| Grenoble         | ligne A           | 1987            | 8.9           | 374 000        |
| Grenoble         | ligne B           | 1990            | 4.6*          | 374 000        |
| St Denis Bobigny | T1                | 1992            | 9             | 227 500        |
| Strasbourg       | ligne A           | 1994            | 12.6          | 451 000        |
| Rouen            | Metrobus          | 1994            | 11.6          | 390 000        |
| Orléans          | ligne 1           | 2001            | 18.5          | 260 000        |
| Montpellier      | ligne 1           | 2000            | 15.2          | 323 000        |
| Strasbourg       | ligne B           | 2000            | 12.6          | 451 000        |
| Nantes           | ligne 3 et prol 1 | 2000            | 9             | 550 000        |
| Lyon             | ligne 1           | 2001            | 8.7           | 1 200 000      |
| Lyon             | ligne 2           | 2001            | 10            | 1 200 000      |
| Bordeaux         | phase 1           | 2003            | 22.3          | 660 000        |

\* 4.6 km de voie nouvelle sur 5.8 km

### 2.1.6 Domaine de pertinence

Compte tenu de leur coût et de leur capacité, les tramways sont généralement retenus :

- par des agglomérations de taille importante, en général supérieures à 300 000 habitants et pour des gammes de trafic relativement élevées : **3000 à 7000 voyageurs par sens à l'heure de pointe**.
- par des agglomérations millionnaires en complément de leur réseau lourd type métro ou VAL : Ile de France (Tramways de St Denis Bobigny et du Val de Seine), Lille (tramway du Mongy), Lyon (T1 et T2).

<sup>1</sup> Hors Saint-Etienne, Lille et Marseille qui ont conservé leur ligne de tramway

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## 2.2 Les systèmes à guidage matériel

Ces systèmes regroupent deux systèmes habituellement classés dans les modes dits « intermédiaires » par rapport au bus/trolleybus et au tramway classique : le Translohr de la société LOHR Industrie et le TVR de Bombardier.

Si le TVR a été retenu par les agglomérations de Caen et Nancy et circule à présent sur ces deux réseaux, il n'en est pas de même pour le Translohr qui n'a pas encore dépassé le cadre de l'expérimentation. Les premiers résultats de circulation de ce mode en situation réelle ne seront connus qu'en 2005, une fois que le Translohr circulera sur le réseau de Padoue en Italie.

Aussi, les informations présentées pour ces deux modes sont à considérer de manière différente, dans la mesure où un retour d'expérience a pu être effectué pour le TVR, et que pour le Translohr, il ne s'agit que d'hypothèses du constructeur.

### 2.2.1 Caractéristiques principales

#### Concept général

Le Translohr et le TVR sont tous deux des véhicules sur pneus. Par rapport au tramway classique, ils présentent plus de souplesse en matière d'insertion (pentes et courbes admissibles plus fortes). Par rapport à l'autobus, ils sont guidés par un rail central fixé dans la plateforme, et possèdent une bonne image, avec un « look » se rapprochant de celui du tramway.

*Translohr*

Comme le tramway standard, le **Translohr est un véhicule à guidage permanent et motorisation électrique**. Il s'apparente ainsi à un tramway sur pneu. Initialement, le Translohr avait pourtant été conçu pour circuler en mode routier et guidé. Mais suite à l'expérimentation réalisée fin 2001 sur le site du Trans Val de Marne (Ile de France) et peut-être suite aux difficultés rencontrées par le TVR à Nancy, LOHR a finalement décidé de supprimer le mode routier pour développer un guidage permanent. Ceci autorise ainsi le véhicule à s'affranchir des contraintes du code de la route ; sa longueur en particulier n'est plus limitée et les véhicules peuvent être bi-directionnels.



*Le Translohr (Lohr Industries)*

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## TVR

Contrairement au Translohr et au tramway standard, **le TVR est un véhicule bi-mode (électrique – thermique) guidé mais qui peut être débrayé** et qui peut circuler de façon autonome en mode routier hors de la plateforme réservée. La conception du TVR est ainsi routière. Elle est soumise au code de la route et utilise les techniques classiques des véhicules routiers pour le freinage et l'orientation des essieux en mode manuel. Le TVR sera donc toujours monodirectionnel et sa longueur ne dépassera pas les 24.5 mètres, longueur maximum autorisée par dérogation du code de la route.



*Le TVR à Nancy*



*Le TVR à Caen*

## Système de guidage

## Translohr

Le système de guidage à rail central du Translohr est assuré par deux galets en « V » venant pincer le rail de guidage fixé dans la chaussée et assurant l'orientation des roues. Chaque essieu du véhicule est en effet orienté par deux bras supportant chacun deux galets.



Grâce à leur forme et leur inclinaison en « V », charges et forces minimales s'exercent sur le rail, les efforts latéraux étant repris par les pneumatiques. Le système de guidage supporte uniquement les efforts dus à l'orientation des essieux. La transmission des efforts se fait par roulement des galets et non par frottement des mentonnets ce qui limite le bruit et l'usure.

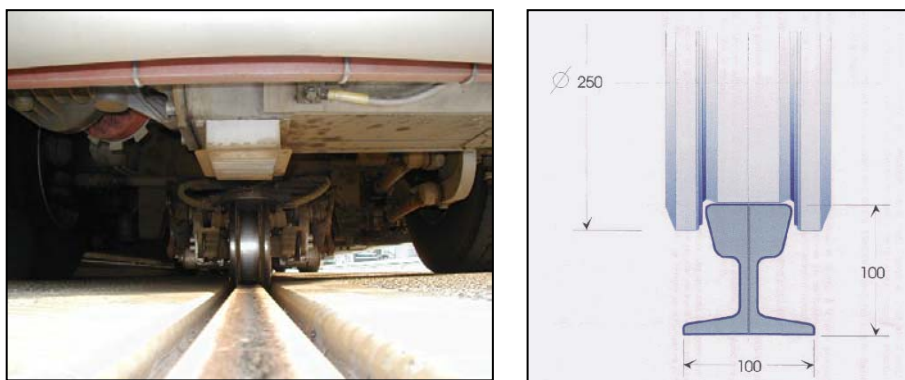
Les galets sont revêtus de bandage composite afin d'éviter le contact direct fer sur fer. Selon le constructeur, il n'existe aucune possibilité de déraillement y compris en

# PRESENTATION DES SYSTEMES

condition d'adhérence très dégradée. Le rail ne subit a priori pas d'usure, celle-ci étant assumée par les galets.

## TVR

Le système de guidage du TVR consiste en une paire de galets, qui, en roulement sur un rail central fixé dans la chaussée, donne l'orientation des roues du véhicule, tous les essieux étant directionnels.



*Le rail de guidage et les galets latéraux*



*Triangle d'insertion du TVR*

**Le passage en mode guidé s'effectue à l'arrêt** et nécessite un "triangle" d'insertion sur le rail : une fois positionné sur le dispositif (localisé par une signalisation latérale), le conducteur active la séquence de « droppage » qui va abaisser le galet du premier essieu, puis les suivants automatiquement. Il est à noter qu'il existe des "triangles" amovibles qui peuvent être utilisés pour passer en mode guidé en n'importe quel point du parcours. Ceci nécessite cependant l'intervention d'une équipe de maintenance.

En mode guidé, la giration est assurée indépendamment pour chaque essieu. Le galet situé devant l'essieu, monté fixe, imprime l'angle de giration aux roues via une timonerie. Le galet arrière, monté libre transversalement, n'assure qu'un rôle de sécurité anti-déraillement. Il est nécessaire d'appliquer un effort vertical sur le rail de l'ordre de 750 daN pour chaque galet afin d'éviter le déraillement.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

La sortie du mode guidé se fait impérativement à l'arrêt. En mode manuel, l'angle de giration du volant est transmis, via une direction assistée, à l'essieu avant qui s'oriente en conséquence. Chaque essieu intermédiaire directeur reçoit l'impulsion de braquage de l'articulation qui le suit par l'intermédiaire de liens mécaniques. L'angle de braquage est transmis au dernier essieu depuis l'articulation qui le précède au moyen d'un système de cames et de bielles.

## Matériel roulant

Les caractéristiques des matériels roulants Translohr et TVR sont résumées ci-après.

|                                                                                             | TVR                  | Translohr                                                |                |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                             |                      | STE 3                                                    | STE 4          | STE 5          |
| Traction                                                                                    | Bi-mode*             | électrique                                               |                |                |
| Autonomie                                                                                   | Groupe électrogène   | Batteries permettant un parcours à vide de 2 km (option) |                |                |
| Type de guidage                                                                             | Rail central         | Rail central                                             |                |                |
| Nombre de caisses                                                                           | 3                    | 3                                                        | 4              | 5              |
| Longueur                                                                                    | 24.5 m               | 25 m                                                     | 32 m           | 39 m           |
| Largeur                                                                                     | 2.50 m               | 2.20 m                                                   |                |                |
| Hauteur                                                                                     | 3.22 m               | 2.89 m                                                   |                |                |
| Hauteur plancher par rapport au sol                                                         | 32 cm                | 25 cm                                                    |                |                |
| Vitesse maximale                                                                            | 70 km/h**            | 70 km/h                                                  |                |                |
| Accélération                                                                                | 1.2 m/s <sup>2</sup> | 1.3 m/s <sup>2</sup>                                     |                |                |
| Décélération                                                                                | 1 m/s <sup>2</sup>   | 1.3 m/s <sup>2</sup>                                     |                |                |
| Freinage d'urgence                                                                          | 5 m/s <sup>2</sup>   | 5 m/s <sup>2</sup>                                       |                |                |
| Bidirectionnel                                                                              | non                  | oui                                                      |                |                |
| Durée de vie                                                                                | 30 ans               | 30 ans                                                   |                |                |
| Nombre de places total (4 p/m <sup>2</sup> )<br>dont places assises                         | 150<br>dont 50       | 120<br>dont 30                                           | 160<br>dont 40 | 200<br>dont 50 |
| Nombre de places total (6 p/m <sup>2</sup> )                                                | 200                  | 160                                                      | 210            | 260            |
| Débit horaire sur la base d'une fréquence de 4 minutes (par sens)<br>- à 4 p/m <sup>2</sup> | 2250                 | 1800                                                     | 2400           | 3000           |

\* thermique – électrique      \*\* 55 km/h en mode guidé

## *Translohr*

La construction du Translohr est modulaire et trois versions sont proposées (STE3, STE4 et STE5). De manière générale, **le Translohr est un véhicule de faible largeur pour limiter la charge à l'essieu et par conséquent l'orniérage**. Cette largeur plus faible permet également une meilleure insertion, mais augmente la longueur du véhicule pour une capacité donnée. La charge à l'essieu varie de 6.9 à 7.2 t en charge normale. Pour le TVR, cette valeur est bien supérieure (11.7 t).

Le guidage intégral du Translohr par rail central assure un accostage très précis en station. La lacune horizontale est de 50 mm, de manière à être sûr de ne jamais toucher le quai, même en cas de crevaison d'un pneumatique.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

Comme les TVR, les véhicules Translohr ont été conçus pour une durée de vie de 30 ans. Toutefois, le manque d'expérience sur ce type de véhicule ne permet pas d'envisager de manière certaine un prolongement de la durée de vie au-delà de 30 ans, par des opérations de rénovation et de remise à niveau technique.

*TVR*



*Guide pneu en station à Caen*

En ce qui concerne le TVR, la précision d'accostage en mode guidé varie de 50 à 100 mm, le système de guidage admettant un jeu latéral de l'ordre de 40 mm<sup>2</sup>. Afin de garantir un guidage complet des 3 caisses, un guide pneu, non prévu dans sa conception initiale, a été ajouté aux stations (bordure béton à Caen, barre en acier inoxydable à Nancy).

Au niveau du dépôt, une partie équipée d'un rail central de guidage est nécessaire pour se positionner avec précision sur la fosse et sous les passerelles (une grande majorité des équipements se trouve en toiture). Aucune infrastructure spécifique n'est nécessaire pour la liaison avec le dépôt, ce qui permet une réutilisation de dépôts bus ou tramways déjà existants.

## **Plate-forme, voie et revêtements**

*Translohr*

Pour le système Translohr, le rail de guidage est posé dans une rainure réalisée sur la surface de la plateforme et noyé dans une résine qui réalise par la même occasion l'isolation contre les courants vagabonds et assure une bonne homogénéité dans la pose.



*Exemple de revêtement choisi à Padoue, Italie (noter les bandes de roulement)*

Pour les bandes de roulement, bien que la charge à l'essieu et la pression au sol soient faibles, il est conseillé d'utiliser du béton ou un asphalte très dur pour éviter des problèmes d'orniérage. Selon LOHR, le reste de la plateforme peut être engazonné et les bandes de roulement bénéficier de traitements esthétiques particuliers. Le renouvellement de la couche superficielle de la voie doit se faire tous les 7 ans environ.

<sup>2</sup> A noter que la valeur de la lacune nominale de quai a été augmentée de 6 mm, suite à l'expertise menée sur l'explosion du pneu arrière droit d'un TVR à Caen en septembre 2003. L'écart entre le pneu du véhicule et le guide pneu a été élargi en décentrant légèrement vers la gauche le véhicule par rapport au rail. Cette opération est sans conséquence sur le GLO (Gabarit Limite d'Obstacle).

# PRESENTATION DES SYSTEMES



Pour le système TVR, les principaux types de chaussées préconisés par le constructeur sur les sections guidées sont :

- une dalle épaisse de béton,
- du béton armé en continu,
- une structure bitumeuse EME avec une couche de roulement en enrobés.

*A Caen, le revêtement choisi pour la plateforme est composé de sections en béton ou béton bitumeux.*

Le rail central de guidage, d'une hauteur de 100 mm et d'une largeur de 65 mm au niveau de la zone plane de roulement, est fourni par la Société SPIE (qui prend également en charge la pose).

**De manière générale, aussi bien pour le Translohr que pour le TVR, les possibilités de revêtement sont bien moins larges que celles du tramway sur fer.**

## Alimentation en énergie

### *Translohr*

Le Translohr est alimenté par captage aérien de 750 V avec un pantographe, le rail de guidage encastré assurant le retour du courant de traction. Une panne d'alimentation des câbles aériens peut être traitée par les batteries s'il y en a, celles-ci étant proposées en option. Cependant, l'autonomie des batteries est limitée à 2 km en charge.

### *TVR*

Le TVR possède deux modes d'alimentation :

- un mode autonome grâce à un groupe diesel électrique (autonomie limitée à 4 heures),
- un mode d'alimentation par courant continu de 750 V, par caténaire à un fil et pantographe, le retour de courant étant effectué dans ce cas par le rail de guidage ou par caténaire à deux fils et perches de trolley.

Bombardier n'a pas développé d'alimentation par batteries ou par GNV/GPL.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

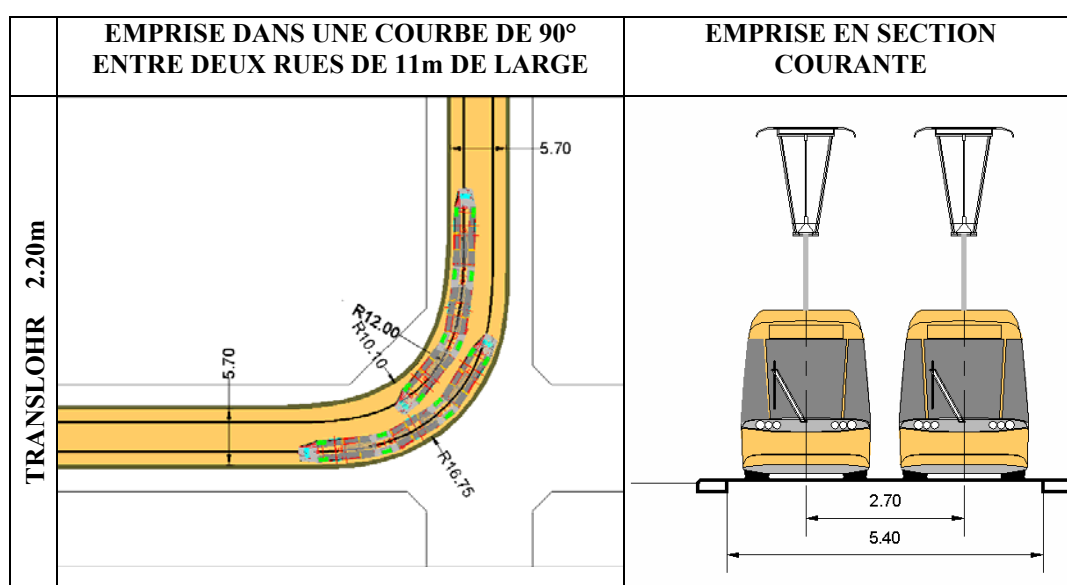
## 2.2.2 Caractéristiques techniques d'insertion

### Translohr

Par rapport au tramway standard, le Translohr s'insère plus facilement en section courante du fait de son gabarit statique réduit. L'emprise en alignement droit pour une voie double hors poteaux caténaires est en effet de **5.40 mètres**.

Par rapport au tramway standard, le Translohr **peut emprunter des rayons beaucoup plus serrés** et franchir des pentes allant jusqu'à 13 % (du fait de l'adhérence des pneus).

Le rayon de courbure minimum est en effet de **10.5 mètres** à l'axe du rail. Dans ces conditions, l'emprise maximale est de 6.7 mètres en voie double, hors poteaux caténaires.



### TVR

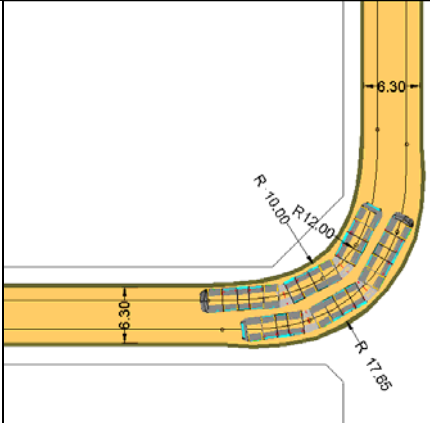
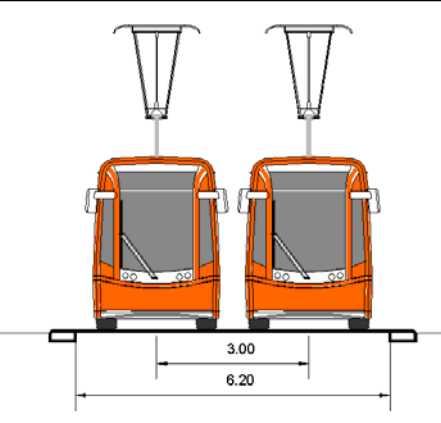
Comme pour le Translohr, l'adhérence des pneumatiques permet au TVR de franchir des pentes de 13 %. Par rapport au tramway standard, **le TVR peut négocier des courbes beaucoup plus faibles, qu'il soit en mode guidé ou non** ; le rayon de courbure minimum est ainsi de **12 mètres** au lieu de 25 mètres pour un tramway.

Les caractéristiques du TVR sont différentes selon qu'il est utilisé en mode guidé ou non.

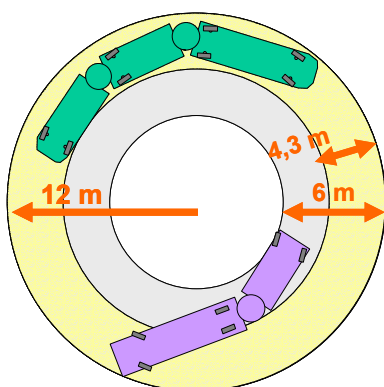
En mode guidé, le système de guidage confère au TVR les avantages d'un tramway standard, soit :

- un caractère monotrace ;
- une limitation des emprises en section courante à **6.20 mètres** environ, au lieu de 7 à 7.50 m pour un autobus non guidé (mais 5.80 m pour le tramway standard de 2.40 m de large) ;
- une limitation des emprises en courbe, d'autant plus importante que le TVR est monotrace et accepte des rayons de courbure plus faibles que le tramway ; à titre d'exemple, celle-ci s'élève à 6.80 mètres en voie double pour une courbe de 25 m.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

|            | EMPRISE DANS UNE COURBE DE 90°<br>ENTRE DEUX RUES DE 11m DE LARGE                 | EMPRISE EN SECTION<br>COURANTE                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| TVR 2.50 m |  |  |

En mode non guidé, le système n'est pas parfaitement monotrace (à 20-30 centimètres près). Il est à noter que ce critère ne constitue pas une exigence réglementaire, mais une amélioration du niveau de confort tant pour la conduite que pour les passagers (limitation des accélérations transversales en courbe).



Toutefois, l'emprise en courbe du TVR non guidé (vert) est en tout état de cause inférieure à celle d'un bus articulé (violet), ses essieux étant tous orientables. A titre indicatif, la largeur de balayage pour une courbe de 12 m est de 4,3 m environ.

## 2.2.3 Fiabilité et risques technologiques

Que ce soit pour le Translohr ou pour le TVR, la pérennité de chacun des systèmes est basée sur un seul constructeur (LOHR ou Bombardier). En effet, il n'existe aucun fournisseur pour un matériel roulant pouvant circuler sur la même infrastructure.

### Translohr

En ce qui concerne le Translohr, celui-ci n'a pas dépassé le stade de l'expérimentation et la première mise en service véritable n'aura pas lieu avant 2005.

La mise au point d'un tel véhicule comporte, en plus des aléas techniques habituels de mise en service d'un matériel roulant à traction électrique, les risques suivants :

# PRESENTATION DES SYSTEMES

- le guidage : même s'il a été testé en profondeur, notamment avec le STRMTG, ce système qui semble bien conçu et mature ne dispose que d'un très faible retour d'expérience. En particulier, les prix annoncés ne sont qu'estimatifs.
- les coûts : en effet, tant pour l'exploitation, et en particulier la maintenance, que pour l'investissement, les vrais coûts du système ne sont pas encore connus.

## TVR

En ce qui concerne le TVR, un retour d'expérience a pu être effectué depuis sa première mise en service il y a plus de trois ans, suite aux incidents intervenus notamment à Nancy et aux nombreuses expertises menées sur le système. Il en ressort les éléments suivants :

- **L'exploitation du TVR en mode routier doit être utilisée de manière exceptionnelle** (par exemple, en cas de panne d'énergie, ou pour éviter des sections sur lesquelles l'exploitation est perturbée) afin d'éviter de nombreuses séquences de débrayage. C'est ce principe qui est appliqué à Caen, où, en cas de situation perturbée, le TVR quitte sa plateforme et emprunte des itinéraires de déviation bien précis ayant fait l'objet d'arrêtés préfectoraux. Les difficultés constatées avec l'alternance routier/guidé retenue à Nancy montrent les limites du système. La multiplication des transitions (4 fois par sens) augmente indéniablement les risques de défaillance et d'erreur de la part des conducteurs.
- **Il faut éviter les courbes trop serrées, surtout si elles sont suivies de contre-courbes** ; à Caen, le rayon minimal de courbure retenu en service commercial est de 20 mètres, les courbes de 12 mètres ayant été limitées aux boucles de retournement. En revanche, à Nancy, les deux courbes en « S » de 12 mètres sur le secteur Gare-République vont être reprises et étendues à 15 mètres, la plupart des incidents se concentrant à cet endroit de la ligne (70 % des pertes de guidage). Dans les courbes de faible rayon, la vitesse doit être strictement limitée (5 km/h).
- **Il faut prévoir une inspection, un entretien et une maintenance des voies accrus et rigoureux, afin de vérifier le respect des tolérances d'usure entre le rail et le galet.** Le respect de ces dispositions garantit la sécurité du système<sup>3</sup>, les risques de perte de guidage venant principalement de l'usure du galet et du rail. Ces dispositions impliquent inévitablement une hausse des coûts de maintenance. Il faudra s'attendre à ce que **les coûts de maintenance soient supérieurs à ceux d'un tramway classique**, du fait de la sophistication des outillages de contrôle à mettre en place.
- **Il ne faut pas sous estimer la période de rodage** et de marche à blanc du système, même si de nombreuses améliorations ont été apportées par Bombardier sur les véhicules et le système de guidage depuis sa première mise en service à Nancy. A noter que le véhicule a été déclaré industriellement valide par le Conseil Général des

---

<sup>3</sup> Les opérations de maintenances doivent à présent comporter : un examen sur fosse du galet tous les 7 jours, une détection acoustique automatique en ligne des défauts éventuels, un graissage régulier du rail, une inspection visuelle tous les 15 jours pour surveiller l'apparition de stries, une mesure mensuelle des efforts de guidage et de la largeur du rail....

# PRESENTATION DES SYSTEMES

Ponts et Chaussées, sous réserve d'un certain nombre de modifications dont certaines ont déjà été prises en compte.

- Dans le cas de systèmes innovants, **mieux vaut impliquer le constructeur dans la maintenance et l'exploitation du système** sur une période suffisamment longue. A Caen, c'est la société STVR (alliance Spie – Bombardier) qui assure, sous forme de concession, la maintenance et le renouvellement des installations fixes (plateforme, rail, quais, LAC, ...) ainsi que la maintenance de 2<sup>ème</sup> niveau du TVR pour une durée de 30 ans.

*A Caen, les opérations de maintenance réalisées par STVR ont surtout porté sur :*

*1/ la reprise de la chaussée suite à d'importants problèmes d'orniérage survenus de manière prématurée au bout d'un an (au lieu de 7 ans, durée qui était prévue pour procéder au renouvellement du revêtement). STVR attribue ce phénomène à un défaut de fourniture du revêtement de type béton bitumeux (mauvaise spécification du constructeur en terme de formulation et composition du produit) inadapté à l'exploitation du TVR. Il est probable que si c'était à refaire, la plateforme serait entièrement faite en béton.*

*2/ le rechargement du rail (apport de métal) aux endroits les plus agressés par l'usure. Cet aspect est toutefois en cours de négociation entre Bombardier et le fabricant du rail (la qualité de l'acier utilisé ne serait pas optimale).*

*Concernant le matériel roulant, les opérations ont surtout porté sur les améliorations rendant le système de guidage plus robuste et sur le changement de type de pneus.*

## 2.2.4 Coûts d'investissement et d'exploitation

### Coûts d'investissement

*Translohr*

Le coût global d'investissement du Translohr - incluant les mêmes postes que ceux cités pour le tramway standard (voir chapitre 2.1.4) - est **similaire à celui d'un tramway standard**. A titre d'exemple, le coût total pour la ligne 1 de tramway de Clermont-Ferrand s'élève à 290 M€<sup>4</sup> HT pour 14 km de ligne, soit un peu plus de **20 M€ par km**.

Le coût unitaire d'une rame de Translohr STE4 (32 mètres) bidirectionnelle est de l'ordre **2.35 M€<sup>5</sup>**, soit 14 500 € la place offerte, ce qui est supérieur de plus de 50 % à un tramway sur fer (9 000 € la place offerte).

<sup>4</sup> Sur la base des estimations réalisées fin 2003, suite aux appels d'offre des différents marchés

<sup>5</sup> Sur la base du marché remporté à Venise : 20 rames STE4 pour 47 millions d'euros.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

TVR

Concernant le TVR, le coût d'investissement moyen s'élève à **15 M€ HT par kilomètre** de ligne<sup>6</sup>. A noter que ce coût est plus proche de 18 M€ HT pour Nancy, si l'on exclut les sections de lignes en mode routier (2.3 km), hors dépenses non prévues de reprise des courbes de 12 mètres dans le secteur de la gare, de reprise du rail et de la piste de roulement sur certaines sections.

Le coût unitaire d'un véhicule TVR est de **1.9 M€**, soit environ 12 500 € la place offerte, ce qui est également supérieur au tramway sur fer.

## Coûts d'exploitation

Translohr

Les coûts d'exploitation du Translohr devraient être sensiblement les mêmes que ceux d'un tramway ferroviaire. **Les principales incertitudes relèvent des coûts de maintenance** qui ne peuvent être estimés qu'après une phase d'utilisation commerciale.

A noter que le plan de maintenance préventive établi par LOHR comprend la surveillance intégrée des fonctions principales du véhicule, les visites d'entretien courant, les révisions et des opérations de "relookage" (remplacement de composants ou d'aménagements à l'aspect démodé).

TVR

Les coûts d'exploitation du TVR sont difficiles à connaître. A Nancy, aucune information n'a été donnée, d'une part parce que ces données sont confidentielles, et d'autre part car l'exploitant ne les connaît pas vraiment du fait des nombreuses perturbations subies par le réseau depuis la mise en service du TVR.

En revanche, à Caen, compte tenu du montage en concession adopté, ces coûts sont mieux connus. Ils s'élèvent à 5.04 € par km pour les frais de personnel, l'énergie, l'entretien quotidien, l'exploitation commerciale et les frais d'assurance et d'impôts, auxquels se rajoutent 1.50 € par km pour la « grosse maintenance » des rames et des infrastructures assurée par STVR. Soit un total de **6.54 € par km**, ce qui est de l'ordre, voire supérieur, au coût moyen d'exploitation du tramway standard.

La maintenance du véhicule est légèrement plus onéreuse que celle d'un tramway fer car le TVR comporte un nombre plus important de fonctions du fait de sa bi-modalité.

Les pièces consommables, par rapport à un tramway fer, sont principalement les pneumatiques et les galets de guidage. Une grande partie des pièces provient de fournisseurs routiers standard (freins, pneumatiques, éclairages, etc.) de manière à optimiser les stocks de pièces détachées et ainsi réduire les coûts.

Les véhicules TVR ont été conçus pour une durée de vie de l'ordre de 30 ans. Cette valeur reste à vérifier pour tous les composants de type routier.

---

<sup>6</sup> Investissement total pour le TVR de Caen communiqué par Viacité : 214 M€ HT pour 15.7 km de ligne, dont 1.5 km en mode routier (non guidé et non électrifié).

# *PRESENTATION DES SYSTEMES*

## **2.2.5 Les agglomérations qui l'ont retenu**

Le Translohr a été retenu par :

- une agglomération française, Clermont-Ferrand, pour équiper sa première ligne de tramway (14 km en site propre intégral) à l'horizon 2006 ;
- trois agglomérations italiennes :
  - Padoue (10.5 km, 14 rames STE3), mise en service prévue en 2005
  - L'Aquila<sup>7</sup> (5.7 km, 10 rames STE3), mise en service prévue en 2005-2006
  - Venise (20 km, 20 rames STE4), mise en service prévue en 2006,

Le TVR circule sur les réseaux de Nancy depuis février 2001 et de Caen depuis octobre 2002.

A la différence de Nancy, le TVR de Caen est entièrement guidé et en site propre le long de son parcours (15.7 km). Seul le retour au dépôt s'effectue en mode routier (1.5 km).

Les incidents ayant eu lieu sur le TVR, notamment sur le réseau nancéen, ont fait l'objet de nombreuses expertises. La majorité des causes de ces incidents ont été identifiées, et des recommandations formulées quand à des modifications du système et une surveillance accrue à mettre en œuvre sur le plan de la maintenance des infrastructures.

## **2.2.6 Domaine de pertinence**

Le TVR et le Translohr se classent dans la catégorie des systèmes dits intermédiaires.

Ceux-ci ont été conçus pour des agglomérations de taille « moyenne » - 100 000 à 300 000 habitants - (Caen, Nancy) et dans des gammes de trafic a priori inférieures à celles des tramways existants : **2000 à 4000 voyageurs par sens à l'heure de pointe.**

---

<sup>7</sup> Cité universitaire située à 100 Km à l'est de Rome

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## 2.3 Les systèmes à guidage immatériel

Ces systèmes regroupent deux systèmes habituellement classés dans les modes dits « intermédiaires » par rapport au bus et au tramway classique : le Civis et le Phileas.

Si le Civis a été exploité en situation réelle dans deux réseaux français (Rouen et Clermont-Ferrand), le Phileas, en revanche est attendu à l'été 2004 pour circuler dans la région d'Eindhoven aux Pays Bas.

Aussi, les informations présentées pour ces deux modes sont à considérer de manière différente, dans la mesure où un retour d'expérience a pu être effectué pour le Civis, et que pour le Phileas, il ne s'agit encore que d'hypothèses du constructeur.

### 2.3.1 Caractéristiques principales

#### Concept général

Le Civis et le Phileas sont des véhicules routiers guidés. Au niveau de l'image, ces systèmes se rapprochent plus de l'autobus que du tramway.

#### *Civis*

Le Civis est issu d'une coopération entre les Sociétés Irisbus et Siemens. Irisbus fournit le matériel roulant et Siemens prend en charge le système de guidage optique. Le résultat est un véhicule à moteurs-roues électriques pouvant circuler aussi bien en mode routier classique qu'en mode guidé, monodirectionnel et non monotrace.

Le guidage est basé sur un marquage de peinture au sol lu par une caméra placée sur le véhicule. Initialement, il pouvait être partiel ou intégral, mais au jour d'aujourd'hui, le système n'est pas encore homologué pour circuler en mode guidé entre deux stations. **Il se limite donc pour le moment à une aide à l'accostage au niveau des stations.**



*Le véhicule Civis à Rouen, à l'époque de l'expérimentation*

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## Phileas

Le Phileas est un nouveau mode de transport routier guidé développé par la Société APTS (Advanced Public Transport System B.V.). Il s'agit d'un véhicule **pouvant circuler aussi bien en mode routier classique qu'en mode guidé, monotrace** et monodirectionnel.

Le système de guidage est de type immatériel, à la fois informatique et magnétique, basé sur la comparaison de la position d'aimants encastrés dans la chaussée par rapport au trajet à suivre enregistré dans le système informatique. La trajectoire du véhicule est établie en agissant sur le moteur couple lié au mécanisme de direction. A noter que ni le véhicule, ni le guidage ne sont encore homologués en France.

Le système est présenté comme pouvant être conduit soit en tout automatique, soit en semi-automatique, soit en manuel. En mode manuel, le véhicule est conduit comme un bus normal. En conduite automatique, tout le parcours est alors programmé : accélération, freinage, vitesse, arrêts. En mode semi-automatique, le conducteur n'agit que sur le freinage.



*Le Philéas, sur son site d'expérimentation*

## Système de guidage

## Civis

Le système de guidage du Civis est fondé sur le principe du traitement d'image et de reconnaissance de trajectoire. Une caméra, placée derrière ou au-dessus du pare-brise, détecte la position du véhicule par rapport à une double bande de balisage peinte sur la chaussée. Les informations sont traitées par une unité centrale électronique qui agit automatiquement sur la colonne de direction, par l'intermédiaire d'un moteur électrique, afin que le véhicule suive la trajectoire de référence. Le système étant immatériel et débrayable, le conducteur peut reprendre la conduite en mode manuel à tout moment si les circonstances l'exigent, sans ralentissement du véhicule. **Il est important de noter que le système de guidage optique ne concerne que l'essieu avant. L'essieu arrière n'étant pas guidé, le véhicule n'est pas monotrace.**



L'interface avec les infrastructures se limite au marquage au sol. Celui-ci est constitué de deux bandes parallèles de pointillés, larges de 10 cm chacune et espacées de 25 cm. De part et d'autre de cette double bande de 45 cm, une largeur de 30 cm doit être libre de tout autre marquage. Les "pointillés" sont réalisés avec une peinture routière standard, par une

# PRESENTATION DES SYSTEMES

méthode de pochoirs. La précision du marquage doit être la plus grande possible pour un guidage de qualité ; un écart inférieur au demi centimètre est recommandé. Sa durée de vie dépend fortement des conditions d'application et de circulation. Elle peut varier de 6 mois à 4 ans<sup>8</sup>.



Le guidage optique permet un accostage en station réduisant la **lacune horizontale entre le quai et le véhicule à moins de 50 mm** (sans dévers). Ce système a fait ses preuves à Rouen<sup>9</sup> et Clermont.

A noter que le guidage est surtout utilisé pour l'accostage en station, **le système n'étant pas homologué en interstation**<sup>10</sup>. En effet, en mode guidé et au-delà d'une certaine vitesse (30 km/h), la trajectoire du véhicule n'étant pas parfaitement maîtrisée, il est impératif de prendre en compte la marge induite par la reprise en main du véhicule en cas de « déraillement » de celui-ci.

Deux solutions ont ainsi été préconisées pour tenir compte de ce paramètre :

- soit le site propre est élargi (ajout de 40 à 50 cm au gabarit cinématique du véhicule guidé),
- soit le guidage est complété par un système de bordurette en béton de 18 cm fixées sur la plateforme et sur lesquelles viendraient s'appuyer des roues de guidages placées sur le véhicule. Cette solution, initialement imaginée pour Rouen, a par la suite été abandonnée par Siemens.

## Phileas

Le système de guidage du Phileas, développé par la Société FROG, est une évolution d'un système de guidage par "transpondeurs" (équipements encastrés dans la chaussée devant être stimulés magnétiquement par une antenne placée sous le véhicule). Dans le contexte Phileas, les transpondeurs sont remplacés par de petits aimants standard passifs qui sont encastrés tous les 4 mètres environ dans un trou foré dans la chaussée, puis fixés à la résine.

Cette solution est insensible aux sollicitations externes telles que les conditions atmosphériques (pluie, neige, foudre) ainsi que le vandalisme. Si les aimants sont correctement fixés par la résine, ils ne devraient demander aucune intervention de maintenance, même lors des réfections de surface de la chaussée.

Sur le véhicule, des capteurs métalliques implantés au niveau de chaque essieu détectent la position des aimants. Les informations sont transmises à l'ordinateur de bord qui va

<sup>8</sup> A Clermont-Ferrand, l'exploitant du réseau signale avoir refait la peinture 2 fois par an sur le site Leo 2000 où est expérimenté le Civis.

<sup>9</sup> A Rouen, le système de guidage a été conservé et installé sur les bus Agora

<sup>10</sup> A Clermont-Ferrand, le guidage en interstation est testé sur une section expérimentale de 700 mètres dans un seul sens.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

déterminer la position du véhicule et corriger sa trajectoire en conséquence, si besoin est, par rapport à celle enregistrée dans le système.

Le système de guidage du Phileas permet pour l'instant **un accostage en station avec une précision de 100 mm**. L'objectif recherché à terme est de 50 mm.

## Matériel roulant

Les principales caractéristiques des matériels roulants Civis et Phileas sont résumées ci-après.

|                                                                                                | Civis                   | Phileas                |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
|                                                                                                |                         | 18 mètres              | 24 mètres      |
| Traction                                                                                       | Thermique ou électrique | Thermique              |                |
| Type de guidage                                                                                | optique                 | magnétique             |                |
| Nombre de caisses                                                                              | 2                       | 2                      | 3              |
| Longueur                                                                                       | 18.50 m                 | 18 m                   | 24 m           |
| Largeur                                                                                        | 2.55 m                  | 2.54 m                 |                |
| Hauteur                                                                                        | 3.22 m                  | 3.12 m                 |                |
| Hauteur plancher par rapport au sol                                                            | 32 cm                   | 34 cm                  |                |
| Pourcentage de plancher bas                                                                    | 100 %                   | 100 %                  |                |
| Vitesse maximale                                                                               | 80 km/h                 | 80 km/h                |                |
| Accélération                                                                                   | 1.3 m/s <sup>2</sup>    | 1.3 m/s <sup>2</sup>   |                |
| Freinage d'urgence                                                                             | > 5.5 m/s <sup>2</sup>  | > 6.9 m/s <sup>2</sup> |                |
| Bidirectionnel                                                                                 | Non                     | Non                    |                |
| Durée de vie                                                                                   | 20 ans                  | 20 ans                 |                |
| Nombre de places total (4 p/m <sup>2</sup> )<br>dont places assises                            | 110<br>dont 30          | 90<br>dont 30          | 120<br>dont 40 |
| Débit horaire sur la base d'une<br>fréquence de 4 minutes (par sens)<br>- à 4 p/m <sup>2</sup> | 1650                    | 1350                   | 1800           |

### *Civis*

Le Civis a un poste de conduite centré, et de ce fait, la longueur réelle du véhicule est de 18.5 mètres, contre 18 mètres pour un poste de conduite à gauche ou pour un autobus articulé standard. La capacité de ce véhicule n'est pour l'instant pas évolutive, avec une seule longueur proposée.

La charge à l'essieu varie de 7.2 t à 13 t selon les essieux en charge normale, pour un poids total en charge de 32 t. Ces valeurs sont supérieures à celles du TVR et du Translohr.

Le véhicule est conçu pour permettre une durée de vie de 20 ans. Plusieurs gammes de maintenance sont prévues après 10 000, 30 000 et 90 000 km de fonctionnement, ainsi que tous les ans et tous les 2 ou 3 ans. Au niveau du système de guidage, Siemens estime que la moitié des éléments constituant le système de guidage devra être remplacée au bout d'environ 10 ans (obsolescence, usure, sécurité,...).

# PRESENTATION DES SYSTEMES

Les équipements de maintenance spécifiques au guidage, pour le centre de maintenance, sont peu nombreux. Ils consistent principalement en une zone de test, un appareil à visée "laser" pour le réglage de la caméra, et un logiciel de diagnostic et de réglage. Ces équipements sont destinés au calibrage des éléments du système de guidage.

## *Phileas*

Contrairement au Civis, le Phileas est un véhicule de conception modulaires. Deux versions courantes sont proposées, à laquelle s'ajoute une version de 25.50 mètres.

Contrairement au Civis, le Phileas est monotrace. Tous les essieux étant directionnels, le système informatique assure la monotrabilité du véhicule en pilotant séparément chaque essieu.

Les véhicules ont été conçus pour une durée de vie minimum de 20 ans. Les équipements de maintenance spécifiques au guidage consisteront principalement en :

- une zone de test disposant d'un quai pour le calibrage des éléments du système,
- un banc de diagnostic et de réglage qui est en cours de développement,
- une passerelle pour la maintenance des équipements en toiture.

Ces éléments seront à affiner après une période de rodage du système sur le site d'Eindhoven.

### **Plate-forme et revêtements**

Tant pour le Civis que pour le Phileas, les **choix de revêtement sont extrêmement limités**.

Pour le Phileas, une plateforme en **béton** est nécessaire ; ce revêtement est celui qui résiste le mieux au phénomène d'orniérage apparaissant suite aux passages répétés de véhicules au même endroit sur la chaussée.

De même, pour le Civis, il est recommandé de choisir une plateforme en béton afin de se prémunir contre les déformations de la chaussée.

### **Alimentation en énergie**

## *Civis*

L'alimentation du Civis peut, au choix, être :

- thermique, avec un moteur 300 ch Diesel Euro 3,
- bi-mode, électrique (trolley) et thermique, avec le même moteur, ce qui garantit des performances nominales équivalentes dans les deux modes,
- électrique (type trolley), avec ou sans moteur d'autonomie.

Les véhicules ayant circulé à Rouen et circulant actuellement à Caen sont les versions diesel uniquement. Or, ces versions n'apparaissent pas satisfaisantes sur le plan économique. Les deux réseaux signalent une **consommation très élevée** (100 litres aux 100), plus élevée de 30 % que celle d'un bus classique (à titre d'exemple, l'Agora consomme 70 litres aux 100). Cette surconsommation serait liée au poids du véhicule, à un générateur qui ne serait pas assez performant et une chaîne de traction électrique – thermique non optimale. L'objectif du constructeur est de passer de 100 à 80 litres pour limiter le surcoût à 10 % par rapport à un bus. Cet objectif n'est pas encore atteint.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

Toutefois, Irisbus et Siemens s'orientent vers une promotion de la **version électrique, version initiale et sous laquelle le Civis serait le plus performant.**

## Phileas

Le Phileas est un véhicule hybride à traction électrique. La génératrice électrique est entraînée au choix par un moteur diesel, GPL ou GNV. L'énergie peut être stockée soit par volant d'inertie, soit par batteries d'accumulateurs. Chaque roue motrice est dotée d'un moteur électrique avec transmission indépendante. L'énergie libérée en freinant est renvoyée dans les accumulateurs.

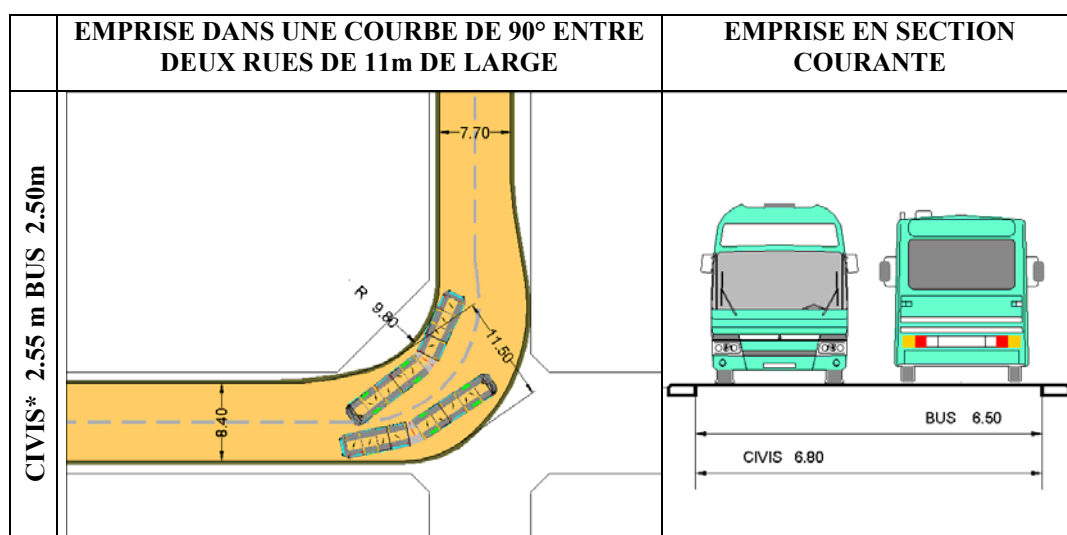
Pour le GPL, une réserve de 800 litres est prévue, autorisant un parcours de 550 km (les bouteilles sont placées à l'arrière, en bas car le gaz monte). Pour le GNV, les bouteilles sont placées en toiture, car le gaz descend.

## 2.3.2 Caractéristiques techniques d'insertion

## Civis

Le Civis, comme la plupart des véhicules sur pneus, peut franchir une pente maximale de 13 %. Ses caractéristiques d'insertion sont bien moins bonnes que celles des autres modes dits intermédiaires.

**Le rayon de courbure minimum est en effet assez élevé : 25 m en mode guidé.** Les rayons de courbure inférieurs à 25 m impliquent une reprise de conduite du véhicule en mode manuel. **En mode non guidé, le rayon minimal est de 12 m.** Cette différence s'explique par le fait que la caméra n'a pas un angle de visée suffisamment large pour suivre le marquage dans les rayons serrés.



\* non guidé

Au niveau du gabarit limite d'obstacle, comme on est en présence d'un système de guidage immatériel, il est impératif de prendre en compte la marge induite par la reprise en main du véhicule en cas de "déraillement". Il convient d'ajouter de 40 à 50 cm au

# PRESENTATION DES SYSTEMES

gabarit cinématique du véhicule guidé. **L'emprise cinématique du Civis est donc du même ordre de grandeur que celle des bus articulés :**

- en alignement droit et en voie double, on obtient une largeur d'emprise variant de 6.7 m pour 20 km/h, à 7.3 m pour 50 km/h,
- en courbe, une simulation sur informatique est nécessaire pour tenir compte, entre autres, des **effets de balayage**. L'emprise en courbe de 25 m de rayon, en voie double, est en tout état de cause supérieure à 9 m.

Aussi semble-t-il préférable de limiter l'exploitation du Civis en mode guidé pour l'accostage en station.

*Phileas*

La pente maximale franchissable du Phileas est de 12 %. De manière générale, le **rayon de courbure minimal est légèrement inférieur à 12 mètres**. L'emprise en alignement droit, pour une voie double varie entre 6.6 et 7 mètres.

**Le caractère monotrace du véhicule limite l'emprise au sol dans les courbes.** A titre d'exemple, l'emprise en courbe pour le véhicule de 24 m est de 4.1 mètres (voie simple), le rayon extérieur minimum de giration étant de 11.2 mètres. En version 18 m, l'emprise en courbe est de 3.8 mètres (voie simple), le rayon extérieur minimum de giration étant de 11.8 mètres.

## 2.3.3 Fiabilité et risques technologiques

*Civis*

Le Civis n'a pas encore vraiment terminé sa phase de test. L'expérimentation menée pendant 3 ans sur le site de Leo 2000 à Clermont Ferrand (ligne 2) vient d'être reconduite pour une durée de deux ans avec l'accord du PREDIT. Si cette expérience s'avère concluante, les 6 véhicules, actuellement en location, seront achetés à Irisbus – Siemens (et par ailleurs conservés dans leur version diesel). Dans le cas contraire, les véhicules Agora équipés du système de guidage, initialement prévus pour renforcer le parc circulant sur la ligne et remplacer les Civis non disponibles, pourraient être conservés.

L'exploitant du réseau T2C à Clermont souligne toutefois des difficultés en terme de fiabilité et de disponibilité du véhicule (70 %), même si celles-ci ont beaucoup été améliorées depuis le début (40 % au départ). Sur les 6 véhicules, en moyenne 4 circulent et 2 sont en réparation ou retrofit pour des améliorations portant principalement sur l'électronique.

En revanche, le **guidage est techniquement au point**. Celui-ci a par ailleurs été conservé par Rouen pour équiper les Agoras circulant sur les lignes fortes TEOR, et Clermont envisage d'équiper l'ensemble de son parc bus d'un guidage optique.

*Phileas*

Les risques technologiques du Phileas sont inhérents au développement d'un système nouveau. Ces risques concernent principalement l'homologation, le déverminage, les délais de production, la pérennité du système.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

Toutefois, le système de guidage par aimants est une évolution du système par transpondeurs qui a déjà fait ses preuves. Ce système par aimants est déjà en service sur plusieurs sites industriels.

## 2.3.4 Coûts d'investissement et d'exploitation

Peu d'éléments sont disponibles sur les coûts de ces deux systèmes, tant d'investissement que d'exploitation.

### Coûts d'investissement

*Civis*

Le coût unitaire d'un véhicule **Civis en version thermique est 0.8 M€**, soit près de 7500 € la place offerte - soit trois fois plus qu'un autobus articulé. La version électrique est plus chère.

Les coûts d'investissement estimés sur la base du projet TEOR à Rouen s'élèvent à **4.8 M€/km hors matériel roulant et à 6.5 M€/km pour le projet complet<sup>11</sup>**.

On notera cependant que ce projet ne comporte aucun équipement d'alimentation en énergie électrique (les Civis étant à traction thermique) et que les infrastructures prennent en compte 1/3 d'aménagement en voirie banalisée. Par contre, les coûts incluent l'ensemble des aménagements urbains d'accompagnement, ainsi que des stations ou des équipements d'exploitation similaires au tramway.

*Phileas*

En ce qui concerne le Phileas, compte tenu aujourd'hui du manque de maîtrise du marché commercial pour son système, APTS ne s'engage pas sur le niveau de prix de vente de ses véhicules. Toutefois, **l'ordre de grandeur devrait être de 1,1 M€ pour le véhicule de 18 m de long et de 1,4 M€ pour la version de 24 m.**

Au niveau du site, la plate-forme est comparable à celle pour d'autres véhicules routiers circulants en site propre. La pose des aimants dans la chaussée, tous les 4m environ, est très simple et de faible coût. Un article paru dans la revue Rail et Transports le 30/06/04 mentionne que les travaux d'adaptation de l'infrastructure s'élèvent à 0.7 M€/km (aimants, rehaussement des quais, SIV) voir 4 M€/km pour une voie nouvelle (hors matériel roulant).

### Coûts d'exploitation

*Civis*

Les coûts d'exploitation du Civis ne sont pas connus<sup>12</sup>. Il est par contre certain que ceux-ci sont supérieurs à un autobus, du fait d'une consommation plus élevée (pour la version diesel), d'une maintenance plus coûteuse compte tenu de pièces détachées ou de rechange plus onéreuses, de la présence d'organes électroniques. Il convient également d'ajouter la maintenance du système de guidage et le renouvellement du marquage au sol pour le

---

<sup>11</sup> 26 km de ligne

<sup>12</sup> Sur Rouen, les 2 prototype du Civis n'ont circulé que très peu de temps. A Clermont, le coût n'a pas été communiqué.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

guidage. Le surcoût de la maintenance du Civis est évalué à 0.7 € par km par rapport à un autobus articulé<sup>13</sup>.

*Phileas*

N'ayant pour l'instant pas de retour d'expérience, les coûts d'exploitation du Phileas n'ont pas été chiffrés. Comme pour le Civis, les coûts de maintenance devraient être supérieurs à ceux des autobus classique, compte tenu de la spécificité du véhicule. De plus, il convient d'ajouter la maintenance du système de guidage et de la direction hydraulique.

## 2.3.5 Les agglomérations qui l'ont retenu

*Civis*

Le Civis circule à Clermont-Ferrand et a remporté deux marchés à l'étranger : Las Vegas (Etats-Unis) et Bologne (Italie).

A Clermont-Ferrand, 6 Civis en version diesel circulent au titre de l'expérimentation Léo 2000 sur la ligne Est-Ouest du réseau (ligne 2). La ligne, longue de 7 km environ, n'est pas en site propre et en guidage continu. Le guidage existe en station et à titre expérimental sur une section de 700 m sur un seul sens de circulation.

A noter que les 49 Civis commandés à Bologne sont en version totalement électrique. La ligne sera inaugurée en 2007.

*Phileas*

Pour Phileas, le seul projet recensé est celui d'Eindhoven aux Pays-Bas. Il consiste en la création d'une ligne de 50 km, dont 9 en centre ville, exploitée avec 11 véhicules de 18 m et 1 véhicule de 24 m. Tous les véhicules sont alimentés en mode thermique. La ligne sera opérationnelle entre les villes de Eindhoven et Veldhoven mi 2004.

## 2.3.6 Domaine de pertinence

Le Civis et le Phileas se classent dans la catégorie des systèmes dits intermédiaires. Ceux-ci ont été conçus pour des agglomérations de taille « moyenne » ne pouvant pas « prétendre » au tramway (financièrement et en capacité).

Ils se situent dans des gammes de trafic bien inférieures à celles des tramways existants : **1000 à 2500 voyageurs par sens à l'heure de pointe.**

*« Les métros ou les tramways modernes ont très largement investis les villes les plus importantes. Toutefois, les infrastructures qu'exigent ces modes ne peuvent se justifier que pour certaines tailles d'agglomérations ou lorsque déjà équipée en mode lourd, une agglomération souhaite desservir de nouveaux quartiers présentant de plus faibles volumes de demande. Le mode bus ne pouvant être retenu, les modes intermédiaires sont la solution. Ils doivent cependant offrir une large capacité d'emport, une insertion aisée dans le site et ne pas contribuer à l'augmentation de la pollution urbaine. »*

*Extrait de la plaquette commerciale du Phileas*

<sup>13</sup> Par la RATP

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## 2.4 Les systèmes routiers non guidés

Les systèmes routiers non guidés se réfèrent à l'autobus et au trolleybus classiques et de nouvelle génération circulant sur la plupart des réseaux urbains.

### 2.4.1 Caractéristiques principales

#### Concept général

L'autobus est le plus courant des véhicules routiers circulant sur les réseaux de transports urbains. Il se décline en version standard (12 m en général) et en version articulée (18 m en moyenne). **De nombreuses améliorations ont été apportées sur ce mode, notamment en terme d'accessibilité avec l'apparition de planchers surbaissés ou intégralement bas, et de motorisation.**

De même, concernant l'image extérieure des véhicules, des progrès importants ont été réalisés ces dernières années, donnant un nouvel attrait et un nouvel élan à ce mode de transport en commun tombé un peu en désuétude depuis quelques temps. En parallèle à l'amélioration du confort des véhicules, les émissions de bruit ont été réduites et de nombreux éléments extérieurs ont été retravaillés : silhouette, nouveaux phares, surfaces latérales, vitres collées, blocs optiques, etc.

La gamme des bus articulés n'est pas aussi vaste que celle des bus standard, cependant, étant généralement conçus à partir de ces derniers, ils ont profité des mêmes évolutions en terme d'accessibilité, de confort et de modes d'alimentation. Les grands constructeurs d'autobus en proposent chacun plusieurs versions présentant des caractéristiques innovantes et attractives.

Aujourd'hui, environ une dizaine de bus articulés à plancher surbaissé sont proposés sur le marché. Parmi eux, l'Access'Bus GX 417 d'HEULIEZ, le CityClass d'IVECO, le NG 313 de MAN, le Citaro de MERCEDES, l'Omnicity de SCANIA, l'AG 300 de VAN HOO et le VOLVO 7000.



*Volvo 7000*



*HEULIEZ ACCESS'BUS GX 417*

# PRESENTATION DES SYSTEMES



Le Cristalis d'Irbus (version 12 mètres) à Lyon

Les caractéristiques et performances du trolleybus sont proches de celles de l'autobus et la seule grande différence avec celui-ci est l'alimentation en énergie. Il a l'avantage d'être silencieux et non polluant. Cependant, le système de captation de l'énergie par ligne aérienne de contact le rend moins flexible que l'autobus et l'expose plus aux aléas de la circulation routière.

Toutefois, **les trolleybus de nouvelle génération sont bi-traction** : électrique et diesel/électrique ce qui leur donne une meilleure flexibilité d'exploitation. Les trolleybus de nouvelle génération bénéficient d'un plancher bas intégral surbaissé et entièrement plat, et d'une habitabilité augmentée (larges couloirs notamment) grâce à l'adoption du système des roues motorisées.

Le « Trolleybus Irisbus Cristalis » est un trolleybus de nouvelle génération. Le Cristalis est un nouveau matériel successeur du « Berliet/Renault ER 100 », construit par Irisbus.

## Matériel roulant

Les caractéristiques et performances des matériels bus et trolleybus standard et articulé sont exposées ci-dessous.

|                                                                                | Autobus            |                | Trolleybus nouvelle génération* |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|---------------------------------|----------------------|
|                                                                                | standard           | articulé       | standard                        | articulé             |
| Nombre de caisses                                                              | 1                  | 2              | 1                               | 2                    |
| Longueur                                                                       | 12 m               | 18 m           | 12 m                            | 18 m                 |
| Largeur                                                                        | 2.50 à 2.55 m      |                | 2.55 m                          |                      |
| Hauteur                                                                        | 2.9 m              |                | 2.9 m                           |                      |
| Poids à vide**                                                                 | 11.5 t             | 17.3 t         | 13.2 t                          | 19.1 t               |
| Accélération                                                                   | 1 m/s <sup>2</sup> |                | 1.2 m/s <sup>2</sup>            |                      |
| Vitesse maximale                                                               | 70 - 90 km/h       | 65 - 90 km/h   | 80 km/h                         |                      |
| Hauteur par rapport au sol                                                     | 34 cm              |                | 32 cm                           |                      |
| Traction                                                                       | Thermique, gaz     |                | Electrique                      |                      |
| Durée de vie                                                                   | 10/15 ans          |                | 20 ans                          |                      |
| Nombre de places total (4 p/m <sup>2</sup> )<br>dont places assises***         | 80<br>dont 30      | 120<br>dont 50 | 70<br>dont 35                   | 100 à 110<br>dont 35 |
| Débit horaire sur la base d'une<br>fréquence de 4 minutes à 4 p/m <sup>2</sup> | 1 200              | 1800           | 1050                            | 1650                 |

\* sur la base des caractéristiques du Cristalis d'Irbus, versions ETB 12 et ETB 18

\*\* valeur donnée à titre d'information pour l'Agora de Renault

\*\*\* ce chiffre est modulable : il dépend de l'aménagement intérieur de l'autobus

# *PRESENTATION DES SYSTEMES*

La plupart des bus articulés ont une longueur comprise entre 17,8 m et 18,0 m. Seul VAN HOOB propose une version bi-articulée de 24,8 m : le AGG 300. La largeur standard est de 2,5 m ou de 2,55 m. La capacité offerte est de l'ordre de 120 places dont environ 50 assises. Elle est relativement variable suivant la configuration intérieure retenue.

La masse en charge varie entre 25 et 30 tonnes pour un articulé. Certains constructeurs ont développé une structure en inox et une carrosserie en matériaux composites pour réduire le poids à vide (comme HEULIEZ Access'Bus GX 417). **Les charges à l'essieu sont souvent élevées**, notamment pour l'essieu arrière qui atteint facilement 13 t en charge. La vitesse maximale des bus articulés est généralement de 75 km/h.

Les bus et trolleybus "nouvelle génération" sont conçus pour circuler 20 ans environ. Aucun équipement spécifique de maintenance n'est préconisé par les constructeurs, sauf dans le cas du véhicule Cristalis, où un équipement de manutention et un testeur des moteurs roues est nécessaire. Les programmes de maintenance sont variables selon les constructeurs et les matériels.

**Les bus et trolleybus nouvelle génération sont tous équipés d'un plancher surbaissé ou intégralement bas.** La hauteur du plancher est généralement de 320 mm au niveau de la porte avant et de la porte médiane, et de 340 mm au niveau de la 3ème porte et de la porte arrière. Sur le Cristalis où tous les accès sont à 320 mm avec une rampe à 3 % jusqu'au plancher intérieur à 340 mm.

Certains constructeurs proposent également en option **un système d'agenouillement sur le côté**, permettant de réduire la lacune verticale entre le véhicule et le quai, ainsi qu'une rampe d'accès à commande électrique pour faciliter l'accès des personnes à mobilité réduite.

Au niveau de l'habitacle des véhicules, certains constructeurs ont apporté de larges améliorations en terme d'aménagement intérieur, d'augmentation de la luminosité et de systèmes d'information des passagers. IRISBUS a par exemple cherché à concevoir pour son bus nouvelle génération des aménagements conviviaux (banquettes, rotondes), ainsi que des espaces pour ranger bagages ou vélos. Les surfaces vitrées latérales sont importantes et des puits de lumières ont été ajoutés. Le confort thermique des passagers est assuré sur tous les autobus qui peuvent être équipés de chauffage et de climatisation.

## **Plate-forme et revêtements**

Les bus et trolleybus peuvent circuler en circulation banalisée, mais un aménagement en site propre et un système de priorités aux feux permettront d'atteindre des vitesses commerciales plus attractives.

La plateforme n'est a priori pas spécifique. Les bus et trolleybus peuvent rouler sur la chaussée existante (asphalte, béton bitumeux...). En cas de reprise de la chaussée, les possibilités de revêtement, devant être de type routier, sont limitées.

# PRESENTATION DES SYSTEMES

## Alimentation en énergie

Un large choix de moteurs et de transmissions, ainsi que de modes de propulsion alternative sont disponibles pour les systèmes routiers non guidés.

Certains véhicules sont proposés en version GNV, comme l'AG 300, le CityClass, l'Access'Bus GX 417 ou le NG 313. Certains sont disponibles en mode trolley avec une possibilité de groupe auxiliaire d'autonomie ou de groupe bi-mode. C'est notamment le cas du Cristalis articulé, proposé en mode trolley en version ETB avec perches et petit moteur d'autonomie de 88 ch, ou en version bi-mode avec perches et moteur 300 ch Euro 3. VAN HOOL et IVECO ont également diversifié leurs gammes en proposant des véhicules à propulsion hybride ou trolley.

Le Cristalis présente en plus une technique de propulsion par moteurs-roues.

Dans le cas du trolleybus, l'alimentation électrique est assurée par des perches doubles sur lignes aériennes et un groupe électrogène à moteur diesel permet de garantir au véhicule une autonomie légère en cas de problème d'électricité (déperchage), ainsi que pour rejoindre le dépôt.

## 2.4.2 Caractéristiques techniques d'insertion

Concernant l'insertion urbaine, les bus et trolleybus présentent l'avantage de s'adapter à toutes les configurations urbaines. **Ils peuvent évoluer dans des courbes serrées de 12 m de rayon et franchir des pentes de plus de 13 %** grâce à l'adhérence de leurs pneumatiques.

Leur longueur leur permet de circuler en site propre comme en site banalisé, ce qui leur confère une grande souplesse d'exploitation. **La largeur de la plate-forme en alignement est déterminée par la vitesse de circulation, par le niveau de trafic et par la nature du séparateur** (franchissable ou non).

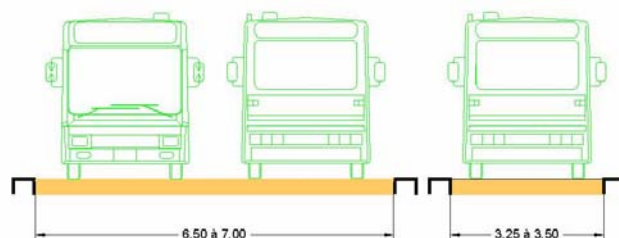
Ainsi, en zone urbaine, pour une vitesse de circulation de 50 – 60 km/h, l'autobus ou le trolleybus nécessitent un site propre de :

- **6.80 m en voie double** pour un trafic inférieur à 60 véhicules à l'heure (2 sens confondus),
- 7.10 m en voie double pour un trafic supérieur à 60 véhicules à l'heure (2 sens confondus),
- 3.50 m en voie unique.

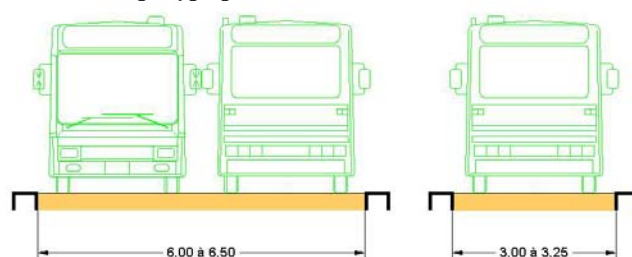
Pour une vitesse de circulation inférieure, ces largeurs peuvent être réduites :

| Vitesse bus | Largeur normale par voie |
|-------------|--------------------------|
| 10 km/h     | 2,80 m à 3,00 m          |
| 30 km/h     | 3,00 m à 3,25 m          |
| 50 km/h     | 3,25 m à 3,50 m          |
| 70 km/h (b) | 3,40 m à 3,60 m          |

# PRESENTATION DES SYSTEMES



*coupe type pour une vitesse de 50 km/h*



*coupe type pour une vitesse de 30 km/h*

Aux arrêts, 6 m de chaussée sont nécessaires entre quais.

En courbe la largeur peut être déduite avec les épures de giration générées par des logiciels spécifiques. Mais elle dépend surtout de la dextérité des conducteurs. **L'emprise en courbe de 25 m est d'au moins 9 m, l'autobus n'étant pas monotrace et balayant fortement.**

|                         | EMPRISE DANS UNE COURBE DE 90°<br>ENTRE DEUX RUES DE 11m DE LARGE | EMPRISE EN SECTION COURANTE |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| CIVIS* 2.55 m BUS 2.50m |                                                                   |                             |

\* En non guidé

# PRESENTATION DES SYSTEMES

Les bus et trolleybus n'étant pas réversibles, il convient d'aménager un espace de retournement en bout de ligne, de taille relativement modérée.

La déviation de réseaux n'est pas obligatoire sur les parties en site protégé. Cependant, le souci de garantir en permanence une excellente qualité de service limite de fait cette possibilité théorique.

## 2.4.3 Fiabilité et risques technologiques

Les bus et trolleybus nouvelle génération ne présentent pas de risques technologiques particuliers.

Le Cristalis circule actuellement sur le réseau lyonnais depuis plus de deux ans sans connaître de difficultés.

## 2.4.4 Coûts d'investissement et d'exploitation

### Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement des sites propres bus et trolleybus sont très variables, mais gardent le gros avantage de présenter des coûts d'investissement très intéressants. Ils dépendent surtout de la longueur de site propre, de la nature et la qualité des aménagements, des opérations d'accompagnement choisis.

Ils peuvent ainsi aller de **3 M€/km à plus de 8 M€/km, hors matériel roulant.**

*Le nombre d'opérations sur lesquelles s'appuyer pour une comparaison est très limité, à partir du moment où on ne fait référence qu'à des réalisations récentes et suffisamment significatives.*

*Il est cependant possible d'évaluer le coût « moyen » de réalisation d'un site propre pour autobus pour la seule part infrastructures à environ 3 à 4.5 M€/km. Les projets en cours de définition à Nice, Maubeuge et Rennes confirment cet ordre de prix. Deux projets présentent cependant un coût unitaire d'environ 8 M€/km, le Trans Val-de-Marne (hors matériel roulant) et le site propre de St-Denis de la Réunion.*

*Pour le trolleybus, les coûts d'investissement du projet C3 à Lyon, une ligne comprenant des aménagements et sites propres partiels (notamment aux approches aux feux) et équipée de véhicules Cristalis, ont été estimés 3.3 M€/km, hors matériel roulant.*

Concernant le coût des véhicules, il faut compter **0.2 M€ pour l'autobus standard et 0.3 M€ pour un articulé, soit environ 2500 € la place offerte en moyenne.**

Il faut compter un surcoût d'environ 38 000 € par véhicule pour un bus au GNV par rapport à son équivalent diesel, et un surcoût d'environ 32 000 € par véhicule pour un bus au GPL.

Le coût d'un **Cristalis standard est de 0,5 M€ HT et de 0,75 M€ HT pour un articulé, soit en moyenne 7500 € par place offerte (comme le Civis).**

# *PRESENTATION DES SYSTEMES*

## **Coûts d'exploitation**

Les coûts d'exploitation des autobus sont de l'ordre de **3 €/km**. Pour le trolleybus moderne (Cristalis), il est convenu de prendre comme hypothèse 3.6 €/km pour la version articulée et 3.10 €/km version simple.

### **2.4.5 Les agglomérations qui l'ont retenu**

Concernant le Cristalis, 11 véhicules standard (12 m) ont été commandés en tranche ferme par la ville de Saint-Etienne. Lyon a déjà commandé 67 véhicules en version trolleybus à autonomie légère, 55 Cristalis ETB12 et 12 Cristalis ETB18. Une partie de ces véhicules circulent déjà sur deux lignes de trolleybus du réseau. A terme, fin 2006, les lignes C1, C2 et C3 (lignes fortes du réseau issues du PDU) seront toutes équipées de Cristalis articulés.

### **2.4.6 Domaine de pertinence**

Le bus et le trolleybus sont conçus :

- pour toutes les agglomérations,
- pour des **gammes de trafic limitées à 2 500 voyageurs par sens à l'heure de pointe**.

Il peut répondre aux besoins des petites, moyennes et grandes agglomérations.

| Caractéristique                                             | Autobus standard ou articulé | Trolleybus Cristalis standard ou articulé | Phileas            | CIVIS                              | TVR                              | Translohr           | Tramway                                        |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|
| Fiabilité                                                   | forte                        | forte                                     | A confirmer        | moyenne                            | A confirmer                      | A confirmer         | forte                                          |
| Système de guidage                                          | aucun                        | aucun                                     | magnétique         | optique (en station)               | Rail central                     | Rail central        | Rails                                          |
| Longueur du véhicule                                        | 12 m ou 18 m                 | 12 ou 18 m                                | 18 ou 24 m         | 18.5 m                             | 24.5 m                           | 25 à 39 m           | 20 à 50 m                                      |
| Largeur du véhicule                                         | 2.50 à 2.55 m                | 2.55 m                                    | 2.54 m             | 2.55 m                             | 2.50 m                           | 2.20 m              | 2.30 à 2.65 m                                  |
| Charge max à l'essieu en charge normale                     | 13 t                         | -                                         | < autobus articulé | 13 t                               | 11.7 t                           | 7.2 t               | 9 t                                            |
| Type de traction                                            | Thermique                    | Bi-mode electr. thermique                 | Hybride            | Thermique ou électrique            | Bi-mode electr. (750V)-thermique | Electr.750 V        | Electr.750 V                                   |
| Vitesse maximale                                            | 65 – 90 km/h                 | 80 km/h                                   | 80 km/h            | 80 km/h                            | 70 km/h - 55 km/h en guidé       | 70 km/h             | 70 km/h                                        |
| Plancher bas                                                | oui                          | oui                                       | Oui                | oui                                | oui                              | oui                 | oui                                            |
| Confort voyageur (bruit, vibration, accostage)              | Faible                       | Moyen                                     | Moyen              | Moyen                              | Bon                              | Bon                 | Bon                                            |
| Nombre total de places (4p/m²)                              | 80 ou 120                    | 70 ou 100                                 | 90 ou 120          | 110                                | 150                              | 120 à 200           | 100 à 350                                      |
| Gamme de trafic correspondante (en voyageur / sens / heure) | < 2500                       | < 2500                                    | < 2500             | < 2500                             | 2000 à 3500                      | 2000 à 4000         | 3000 à 7000                                    |
| Infrastructures                                             |                              |                                           |                    |                                    |                                  |                     |                                                |
| Véhicule Monotrace                                          | non                          | non                                       | Oui                | non                                | oui en guidé                     | oui                 | oui                                            |
| Emprise en section courante                                 | 6.50 (30 km/h) à 7.50m       | 6.50 à 7.50 m                             | 6.60 à 7 m         | 6.70 (20 km/h) à 7.30 m            | 6.20 m <sup>1</sup>              | 5.40 m <sup>1</sup> | 5.60 à 6.30 m <sup>1</sup><br>selon la largeur |
| Emprise en courbe de 25 m                                   | > 9 m                        | > 9 m                                     | > 8 m              | > 9 m                              | 6.8 m guidé, > 9 m sinon         | 6.1 m               | 6.9 à 7.7 m                                    |
| Rayon minimum en tracé                                      | 11 à 12 m                    | 11 à 12 m                                 | 12 m               | 12 m en non guidé<br>25 m en guidé | 12 m                             | 10.5 m              | 25 m                                           |
| Pente maximum                                               | 13 %                         | 13 %                                      | 12 %               | 13 %                               | 13 %                             | 13 %                | 6-8 %                                          |
| Choix de revêtement                                         | limité                       | limité                                    | Limité             | limité                             | limité                           | assez limité        | varié                                          |
| Coûts                                                       |                              |                                           |                    |                                    |                                  |                     |                                                |
| Investissement total moyen au km                            | 4 à 8 M€                     | 4 à 10M€                                  | Non connu          | ~ 8 M€                             | 15 M€                            | 20 M€               | 20 M€ (25 à Bordeaux)                          |
| Prix d'un véhicule                                          | 0.2 à 0.3 M€                 | 0.5 à 0.8 M€                              | 1.1 à 1.4 M€       | 0.8 à 1 M€                         | 1.9 M€                           | 2.35 M€ (STE4)      | 1.7 à 2.5 M€                                   |
| Prix d'un véhicule ramené à la place                        | 2 500 €                      | 7 500 €                                   | 10 000 €           | 7 000 €                            | 12 500 €                         | 14 500 €            | 9000 €                                         |
| Coût d'exploitation au km parcouru                          | 3 €                          | 3.1 à 3.6 €                               | > bus              | > bus                              | 6.5 €                            | = tramway           | 6 €                                            |

<sup>1</sup> Hors poteaux caténaires