



# La renaissance du tramway : L'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain

**MORHUN Sophie**

Master Génie Urbain — Ingénierie de la Maîtrise d'Oeuvre





# REMERCIEMENTS



Je tiens à remercier Madame ULLOA, responsable de la section OPC et Monsieur Pascal DUMAS, coordinateur technique et coordonnateur OPC, pour l'attention et les conseils qu'il m'a donnés au cours de l'élaboration de ce mémoire.

Merci également à Mesdames LEROY, LABBOUZ et Messieurs LEMAITRE, DREUE, ... pour l'aide et les conseils qu'ils m'ont apportés lors de mon travail de recherche et de rédaction.



<b>AVANT-PROPOS : Disparition du tramway.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Les besoins du transport urbain .....</b>	<b>9</b>
1.1. Etat actuel du transport urbain.....	9
1.1.1. Le trafic automobile .....	9
1.1.2. La vitesse commerciale .....	10
1.1.3. La fréquentation .....	10
1.1.4. La pollution .....	11
1.1.5. Le Plan de Déplacement Urbain – PDU – .....	11
1.2. Vers un autre mode de transport – l’intérêt du tramway .....	12
1.2.1. Maîtriser l’évolution du trafic automobile .....	12
1.2.2. Les sites d’implantation .....	13
1.2.3. Les capacités de service .....	15
1.2.4. Un système guidé .....	16
1.2.5. Valoriser l’espace urbain .....	16
1.2.6. La progressivité du système .....	17
1.2.7. La protection de l’environnement .....	17
<b>2. Le renouveau du tramway .....</b>	<b>19</b>
2.1. La relance d’un mode de transport .....	18
2.1.1. En France .....	18
2.1.2. A l’échelle mondiale .....	21
2.2. Les nouvelles solutions .....	22
2.2.1 La voie .....	23
2.2.2 Le matériel roulant .....	26
2.2.3 L’alimentation par le sol – APS – .....	32
2.2.4 Les batteries embarquées .....	35
2.2.5 La régulation de trafic .....	36
2.2.6 Interférence automobile-tramway .....	37
2.2.7 Esthétique .....	38
2.3. Le tramway moderne face aux autres modes de transport guidé 1 .....	39
2.3.1 Le métro automatique type VAL .....	39
2.3.2 Le Tram-Train .....	40
2.3.3 Le Trolleybus et ses évolutions .....	40
2.3.4 Autobus guidés .....	41
2.3.5 Modes de transports alternatifs .....	41



<b>3. Le choix d'une solution tramway .....</b>	<b>42</b>
3.1. L'opportunité d'un axe lourd dans une agglomération .....	43
3.1.1. Les caractéristiques urbanistiques .....	43
3.1.2. Les contraintes d'insertion .....	44
3.1.3. Le diagnostic et les prévisions pour le repérage des corridors .....	44
3.1.4. Choix du mode de transport et son dimensionnement .....	45
3.2. La faisabilité du projet .....	45
3.2.1. Le bilan économique et financier .....	45
3.2.2. Les problèmes institutionnels .....	46
3.2.3. La restructuration et l'intégration du système de transport .....	46
3.2.4. Délais d'exécution .....	46
3.3. Points de vue des habitants .....	47
3.4. Les impacts du projet d'axe lourd .....	47
3.4.1. Les impacts urbains .....	47
3.4.2. Les impacts économiques .....	48
<b>4. Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens .....</b>	<b>49</b>
4.1. Projet d'infrastructures – Phase conception .....	49
4.1.1. L'allotissement du projet .....	49
4.1.2. Découpage, phasage & planification .....	49
4.2. Projet d'infrastructures – Phase réalisation .....	52
4.3. Projet d'infrastructures – Place et rôle de la maîtrise d'œuvre .....	54
4.3.1. Etudes en amont, Etudes préalables et Schéma de principe .....	54
4.3.2. Phase AVP .....	54
4.3.3. Phase PRO .....	55
4.3.4. Phase REALISATION .....	56
4.4. Projet d'infrastructures – Comparatif avec un autre type d'infrastructure linéaire .....	56
<b>Conclusion .....</b>	<b>60</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>62</b>
<b>Table des figures .....</b>	<b>64</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>65</b>

## AVANT-PROPOS : Disparition du tramway



Dans les années 20, l'automobile commence à se banaliser. La circulation n'est guère organisée et on assiste aux premiers bouchons dans Paris. Des voix se font entendre pour protester contre cette situation et accusent les tramways d'entraver la circulation. Ces voix sont relayées par des campagnes de presses dans les journaux. Elles demandent la suppression du tramway. Celui-ci est déprécié face aux véhicules à moteur, symboles de modernité. On exige le remplacement de ce « tortillard brinquebalant, ferrailant, lent, avec ses rails glissants et dangereux » - Le Monde - par des autobus, présentés comme plus souples et moins encombrants.

En 1930, la décision est prise de supprimer les lignes dans Paris intra muros. En 1932, les lignes de banlieue sont arrêtées ; en mars 1937, la dernière ligne est supprimée dans Paris. Et le 14 août 1938, circule le dernier tram de banlieue Le Raincy - Montfermeil.

Dans le domaine du transport urbain comme dans beaucoup d'autres, la capitale donnait alors le ton. Dès 1938, Orléans et Reims suppriment leurs lignes. Cette disparition va s'étaler sur quelques 30 ans pour le reste de la France.

La seconde guerre mondiale accélère les suppressions, d'autant plus qu'après 1945, les réseaux sont anciens et ont souffert des surcharges et du manque d'entretien. Un facteur politique accélère le mouvement : les transports publics ne sont pas une priorité des décideurs pour qui l'automobile est l'avenir. A cette époque, le bus et la voiture incarnent le progrès.

Au 1<sup>er</sup> janvier 1973, seules trois villes conservent encore quatre lignes au total : Marseille, Lille et Saint-Etienne. La cité phocéenne a ainsi gardé sa ligne 68 (2 Km), fort trafic, qui accède au centre-ville par un souterrain. L'agglomération lilloise a sauvé le Mongy (19 Km – 2 lignes), qui relie Lille, Roubaix et Tourcoing, modernisé en 1950. Saint-Etienne a conservé sa ligne nord-sud (12 Km), dite Bellevue-Terrasse, qui passe à travers un centre-ville en cuvette, donc étroit et bien adapté au tramway.

A l'étranger, la tendance est aussi à la suppression. Le mouvement a été concomitant aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

Les Etats-Unis possédaient alors un immense réseau. Les contraintes financières ont joué, notamment dans les petites villes où les lignes étaient souvent déficitaires. Mais les grands consortiums automobiles et pétroliers ont aussi exercé une influence prépondérante. Général Motors a ainsi racheté des compagnies municipales de transport et laissé les infrastructures se dégrader.

Dans le cas de certaines villes britanniques, la fermeture de lignes a pu être motivée pour des raisons sociales et de créations d'emplois. Avec l'autobus, on transporte moins de voyageurs qu'avec une rame de tramway. Il faut donc davantage de véhicules. Et davantage de chauffeurs...

## AVANT-PROPOS : Disparition du tramway



La disparition du tramway est une tendance de fond qui a été observée dans le monde entier, sauf dans des pays comme l'Allemagne, la Suisse, l'Autriche, les Pays-Bas ou la Belgique. Dans ces pays, les villes se lançaient dans une rénovation en profondeur : matériel moderne, doubles voies en site propre, politique à long terme.

# INTRODUCTION



Depuis 1970 et la phrase du président Georges Pompidou « Il faut adapter la ville à l'automobile », la ville a évolué. La circulation automobile n'a cessé d'augmenter. Le problème de transport urbain se pose avec de plus en plus d'insistance dans un grand nombre de villes, qu'elles soient multimillionnaires ou de taille plus réduite, tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement. Avec l'augmentation rapide du trafic automobile, il s'avère que les villes ne peuvent pas être adaptées indéfiniment aux besoins du trafic. Cette constatation redonne toute leur valeur à des transports en commun efficaces.

Chaque agglomération lance donc une réflexion sur les évolutions et les aménagements à entreprendre pour résorber ces problèmes de circulation. Alors que le métro semble être la seule alternative pour les agglomérations de très grosse taille, le débat est engagé au niveau du choix du mode de transport pour des villes moins importantes en terme de population. On observe depuis quelques années, un intérêt grandissant pour une technologie intermédiaire de transport de masse : le métro léger ou tramway. Et de nombreuses villes découvrent ou redécouvrent alors les vertus de ce mode de transport comparé à l'autobus ou le métro.

On assiste à la renaissance du tramway. Ce renouveau est envisageable grâce à l'émergence de nouvelles solutions techniques pour les besoins du transport urbain contemporain.

En France, la renaissance du tramway a eu lieu en 1975 par l'intermédiaire du gouvernement qui a demandé à plusieurs villes d'étudier l'intérêt d'un tramway pour leur agglomération. Dans le même temps, à l'étranger, la tendance est aussi à la réintroduction de ce moyen de transport.

Faire le choix d'implanter un axe lourd de transport, tel que le tramway dans une ville, est un choix important. Les villes qui se tournent vers ce nouveau mode de transport, ont des besoins importants dans le domaine des transports publics. Avant de faire ce choix, il faut donc identifier les besoins et les problèmes actuels dans les villes. Ensuite, lorsque les besoins sont recensés, le mode de transport choisi doit répondre à ces attentes.

Depuis 1975, des innovations technologiques ont permis au tramway de retrouver une place dans les modes de transport envisageables pour résoudre les problèmes de transport. D'abord dérivé du métro, le matériel devient plus esthétique, plus silencieux et plus confortable.

L'image du tramway se modernise, il devient plus attrayant. Le terme de « tramway moderne » apparaît, pour le différencier du tramway d'avant guerre.

Le tramway a des atouts et des capacités que d'autres modes de transport n'ont pas. Mais il n'est pas non plus adapté à toutes les situations. Dans certains cas, les investissements peuvent être réduits en choisissant un mode différent du tramway.





En effet, le tramway n'est pas le seul mode de transport qui peut répondre aux besoins des villes. Il existe des moyens concurrents, développés en même temps que le tramway moderne, qui disposent des mêmes avancées technologiques. Certains types de véhicules se feront même appelés « tramway » pour profiter de l'effet de mode sans que ce soit véritablement un tramway.

D'après la définition du « Larousse », le tramway est un « chemin de fer électrique destiné au transport urbain et suburbain de voyageurs, et implanté en totalité ou en partie sur la chaussée des rues empruntées ; voiture qui circule sur ses rails ». Or, nous verrons que beaucoup de systèmes de transport se développent sur le principe du tramway ou se font appeler tramway sans en être vraiment un. Ainsi, les véhicules sur pneumatiques, guidés de façon matérielle ou de façon immatérielle (optique, magnétique) ne rentrent pas dans la catégorie « tramway », quelles que soient leurs dimensions, vitesse, capacité, aspect extérieur ou sources d'énergie.

Afin de ne pas étendre le développement de ce mémoire sur d'autres types de transport concurrents au tramway, les informations détaillées de ces modes de transport seront annexées. Les informations générales permettant de les comparer au tramway seront conservées dans le mémoire.

Après un rapide propos sur la disparition du tramway causée par le développement de la voiture individuelle, nous verrons quels sont les problèmes rencontrés aujourd'hui par les transports en commun, suite à la domination de l'automobile dans la ville. Dans ce contexte, comment le tramway peut-il apporter une réponse ?

Nous nous intéresserons ensuite au renouveau du tramway. Comment et par qui a-t-il été relancé ? Quelles sont les nouvelles solutions qui le rendent compétitif ? Nous étudierons s'il a des concurrents et quelles sont leurs différences.

Nous aborderons comment se fait le choix d'une solution tramway pour répondre aux besoins du transport. Quels sont les contraintes et les impacts d'une ligne de tramway ?

Enfin, nous parlerons de la gestion de construction de lignes de tramway et de la place du maître d'œuvre au cours de projets d'infrastructures.

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.1. Etat actuel du transport urbain**

Aujourd'hui, la plupart des villes qui n'ont pas encore adopté de politique claire sur le transport urbain, subissent les contrecoups de l'hégémonie de l'automobile. Cela se traduit sur la qualité de vie des habitants et sur la qualité des services rendus par les transports en commun.

L'autobus est, dans la plupart des réseaux de transport du monde, le moyen de transport public urbain le plus répandu. Avec une mise en œuvre souple, il s'adapte au mieux aux modifications des structures liées à la demande. L'autobus présente l'avantage particulier de ne pas nécessiter de voie propre, mais de pouvoir, au contraire, utiliser la voirie générale. Cet avantage s'est toutefois transformé en un inconvénient majeur au fil du temps. En effet, l'espace disponible pour la circulation ne suit pas le développement de la motorisation, de sorte que la capacité de la voirie est dépassée principalement dans les zones denses, les bus se trouvant bloqués dans le trafic.

Cette évolution a fortement diminué l'attrait des transports publics, a entraîné une diminution du nombre de passagers et une augmentation du nombre d'utilisateurs de voitures individuelles et participe ainsi aux problèmes de circulation.

### **1.1.1. Le trafic automobile**

Dans toutes les villes, on a pu constater durant les vingt dernières années que le trafic automobile s'est accru.

Citons pour exemple la ville de Reims où, entre 1988 et 1997, la part de circulation automobile face aux autres moyens de transport (bus, vélos, piétons) est passée de 50 à 60 %<sup>1</sup>. De même à Nice, 90 % des déplacements se font en voiture et au Mans, 30 % des véhicules circulant dans le centre-ville sont en transit.

Toutes ces constructions montrent une tendance forte vers la saturation des voies de circulation des centres-villes. Le risque d'asphyxie et donc de déclin du centre-ville est certain pour beaucoup d'agglomérations.

---

<sup>1</sup> Source : Communauté d'agglomération de Reims, *Plan de Déplacement Urbain*, Mai 2001

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.1.2. La vitesse commerciale**

La vitesse commerciale est la vitesse moyenne d'une ligne de transport public en tenant compte d'arrêts aux stations.

Dans une ville desservie par un réseau de bus, le problème du trafic routier est prépondérant. Les bus sont pénalisés par les perturbations dues à la circulation générale, et il leur est souvent reproché une vitesse commerciale insuffisante.

Pour la ville de Reims, en heures pleines, les vitesses commerciales ont perdu jusqu'à 2,5 km/h en 5 ans. Sur certaines lignes, elle n'est plus que de 12 km/h.

En effet, les bus utilisent le même espace que les voitures pour circuler. L'accroissement du trafic automobile jusqu'à saturation des voies de circulation, pénalise les transports urbains. Les bus ne peuvent plus assurer une desserte rapide et efficace des différentes zones de l'agglomération sans des retards. Les vitesses moyennes de circulation, sont de plus en plus faibles.

Sur des lignes à forte fréquentation, l'utilisation de bus à grande capacité (bus articulés) avec des fréquences élevées ne suffit plus. Continuer de cette manière mène à la création de trains de bus qui n'apportent pas de vitesse supérieure et finissent par saturer les artères du centre des villes.

## **1.1.3. La fréquentation**

Cette baisse de la vitesse commerciale n'est pas en faveur des transports en commun concurrencés par la voiture qui est aussi rapide car sur les mêmes voies de circulation.

La mise en concurrence du bus avec la voiture personnelle est donc difficile. De plus, le confort peut faire défaut aux heures de pointe.

De ce fait, la fréquentation n'augmente pas, quand elle n'est pas en baisse, alors que le centre-ville aurait besoin d'une utilisation plus importante de ce moyen de transport pour le décongestionner.

De plus, les bus les plus couramment utilisés ne permettent pas toujours l'accès des personnes à besoins spécifiques ou des poussettes. En effet, malgré l'apparition des planchers bas dans le bus, le passage du quai au véhicule reste difficile car la distance entre les deux est variable à chaque arrêt.

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.1.4. La pollution**

La priorité donnée aux véhicules individuels et notamment à l'automobile, conduit à une perte de qualité de vie, en particulier dans les grandes villes où la pollution atmosphérique a désormais pour principale source les transports. Les nuisances sonores dues à l'automobile prennent proportionnellement de l'ampleur.

Les grands axes des villes, zones à trafic élevé, sont des lieux très exposés aux gaz d'échappement.

Mais la pollution est aussi sonore. L'augmentation du trafic automobile conduit à l'élévation du bruit ambiant dans les centres-villes.

## **1.1.5. Le Plan de Déplacement Urbain – PDU –**

Afin de prendre en compte l'état actuel des transports dans les villes de France et établir une politique de développement, la législation française a mis en place une démarche à suivre.

La Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs (LOTI) du 30 décembre 1982 définit les méthodes et les outils utiles dans l'aménagement des transports. Dans ce texte, il est proposé la réalisation d'un Plan de Déplacement Urbain. La Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996, oblige les agglomérations de plus de 100 000 habitants à réaliser un PDU.

Les objectifs du PDU sont fixés par la loi. Celui-ci doit porter sur la diminution du trafic automobile, le développement des transports collectifs et des moyens de déplacement économes et moins polluants, comme la bicyclette et la marche à pied. L'usage de la voirie doit être plus efficace et il doit porter sur l'organisation du stationnement.

Pour beaucoup d'agglomérations, la réalisation d'un Plan de Déplacement Urbain a rendu un verdict sans équivoque : augmentation constante de l'utilisation de l'automobile, omniprésence de la voiture qui nuit à la qualité de vie (pollution, bruit, stationnement). Du côté des transports en commun, malgré une offre régulièrement améliorée, on constate que les réseaux de bus ont atteint leurs limites : la fréquentation stagne, les bus sont saturés aux heures de pointe, la vitesse commerciale se dégrade, les fréquences de passages sont irrégulières et les horaires ne peuvent plus être respectés.

On assiste dans toute la France à une situation comparable à celle de 1930. A cette époque, le tramway était présenté comme un véhicule dépassé face à l'automobile. Aujourd'hui, c'est la voiture qui est présentée comme le péril de la ville et il est temps de se retourner vers un autre mode de transport.

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.2. Vers un autre mode de transport – l'intérêt du tramway**

Suite au constat de l'hégémonie de l'automobile, de nombreuses villes ont souhaité rééquilibrer les différents modes de déplacement.

C'est l'une des raisons pour lesquelles des agglomérations ont réfléchi à un nouveau mode de transport ces dernières années.

Face à ce constat, certaines collectivités envisagent de redéfinir leur politique de transport. L'autobus a montré ses limites, du fait de sa faible capacité et de sa difficile insertion dans le trafic automobile, ce qui le soumet aux ralentissements routiers et grève sa vitesse commerciale.

Le métro, autre solution alternative aux bus, représente un investissement très lourd et présente l'inconvénient de créer des espaces souterrains qu'il faut constamment sécuriser. Enfin, l'investissement se fait essentiellement en sous-sol, ce qui le rend impossible dans certaines villes (nappes phréatiques, vestiges archéologiques trop présents, ...).

Ainsi, beaucoup de municipalités se sont intéressées aux Transports en commun en Site Propre (TCSP). Ce type de transport, quel qu'en soit le type, permet, grâce au site propre réservé et à un système de guidage, d'assurer : vitesse, fréquence, respect des horaires, facilité d'insertion et accessibilité aux personnes à besoins spécifiques.

Un mode de transport, en particulier, semble bien adapté pour résoudre ces problèmes : le tramway. Il a bénéficié de plusieurs innovations technologiques ces vingt dernières années qui le rendent attractif. Le tramway est aussi appelé métro léger quand la majeure partie de la ligne est séparée du reste de la circulation et quand il utilise du matériel à forte capacité.

### **1.2.1. Maîtriser l'évolution du trafic automobile**

Afin de réduire la progression de l'automobile voire de diminuer son usage en ville, l'utilisation d'un autre mode de transport en commun, comme le tramway, est nécessaire. Cela en le rendant utilisable par les habitants, dès que possible, à la place de la voiture, restant utilisée quand elle est réellement nécessaire.

Réduire le nombre de voitures entrant dans un centre urbain permet de décongestionner les voies de circulation mais aussi de libérer de l'espace occupé par les stationnements.

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



Pour favoriser l'utilisation des transports en commun pour se rendre en centre-ville, il est nécessaire de créer des « parc relais » aux extrémités de réseaux. Ces stationnements permettent de laisser les automobiles aux portes de la ville, là où il y a de l'espace, et d'amener la population dans le centre par les moyens de transports en commun.

## **1.2.2. Les sites d'implantation**

Afin de séparer les transports en commun du trafic automobile d'assurer ainsi une vitesse commerciale, des fréquences et des horaires réguliers aux usagers, une utilisation d'espaces réservés s'impose : il s'agit de Site Propre.

Le site propre est une voie réservée sur laquelle ne circulent que des véhicules de transports en commun. Ce dispositif s'accompagne dans la plupart des cas de la priorité aux intersections. Il permet d'extraire les véhicules de transport en commun de la circulation générale et de leur permettre ainsi d'être plus rapides et plus réguliers.

Les voies de transports collectifs se répartissent selon quatre types de sites :



Le site propre intégral qui correspond généralement aux réalisations nouvelles en centre-ville en situation dénivelée : tunnel ou viaduc.



Le site séparé qui correspond aux plates-formes indépendantes au milieu ou le long d'un boulevard ou sur une ancienne plate-forme de chemin de fer.



Le site réservé qui correspond à des voies situées sur la chaussée, délimitées par un marquage réalisé en général à l'aide de peinture ou en utilisant un revêtement spécifique mais non séparé, physiquement de la circulation générale.



Le site banalisé constitué par des voies posées sur la chaussée utilisée par la circulation générale : ce type de sites se trouve plutôt dans les réseaux anciens sur des chaussées trop étroites sur lesquelles il n'est pas possible de réserver une emprise appropriée pour les véhicules de transport en commun.



**Figure 1 : Métro de Toulouse sur viaduc, KHUN Francis, Le tramway moderne ou le métro automatique, INRETS, avril 2003**



**Figure 2 : Profil en travers d'un site séparé, Lohr, juin 2004**



# CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain



La disposition et l'emprise des sites séparés sont très variées. Leur faible développement dans les zones denses de centre-ville montre qu'il est difficile de libérer un espace uniquement pour l'usage des transports collectifs.

Francis Kühn a étudié en 1987<sup>2</sup> les vitesses commerciales moyennes de plusieurs réseaux européens de tramway des années 1966 et 1983 (**voir annexe I**). Il remarque que la tendance générale est à « *l'augmentation sensible de ces vitesses, cette augmentation en valeur relative n'étant cependant pas proportionnelle à l'accroissement du pourcentage de mise en site séparé, réalisée sur le réseau* ».

Cependant, il apparaît nettement que les réseaux ayant des tronçons importants en site séparé, ont des vitesses commerciales supérieures à celles des réseaux ayant un important linéaire en site banal.

La suppression des entraves, grâce aux sites propres, permet d'améliorer les temps de parcours et présente aussi d'autres avantages pour l'exploitation. Un transport en site propre permet de réduire les réserves de temps, prévues pour les retards, mais aussi d'améliorer la sécurité des usagers des transports collectifs, des piétons et des automobilistes.

Dans le centre de nombreuses villes, la configuration des rues ne permet pas d'implanter des voies de surface en site séparé, ce qui conduit à mettre en souterrain la plate-forme. Si les travaux en sous-sol sont irréalisables (nappe phréatique, archéologie, ...), il est possible de réaliser la voie sur viaduc. Celui-ci peut être implanté dans le terre-plein central des boulevards et passer au-dessus des carrefours et voies de circulation, ce qui conduit à perdre certains avantages du métro léger, du point de vue des investissements.

Le coût du génie civil au kilomètre de voie double, sans les rails ni les équipements pour l'énergie, varie de 5 à 12 millions d'euros pour un tronçon en surface, de 15 à 20 M€ en élévation et de 20 à 40 M€ en souterrain<sup>3</sup>. On remarque que les investissements sont très différents suivant l'implantation du tronçon.

<sup>2</sup> KUHNS Francis, Transports urbains guidés de surface, INRETS, 1987.

<sup>3</sup> Source : INRETS Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, 2003.

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.2.3. Les capacités de service**

### **La vitesse commerciale**

Avec un site propre, le tramway échappe aux inconvénients de la circulation générale, sauf au droit des carrefours lorsqu'il les passe au niveau de la chaussée. Il est alors protégé par les feux de signalisation et obtient la priorité avec les équipements de régulation.

Pour les réseaux de tramway en situation protégée, les vitesses commerciales peuvent atteindre entre 18 et 26 Km/h. C'est 30 % plus rapide que les bus. Les retards dus aux conditions de la circulation, l'attente devant les feux des carrefours à niveau, les limitations de vitesse dues aux problèmes d'insertion sur la voie ayant une influence néfaste.

### **La fréquence**

La fréquence de passage dépend de nombreux facteurs comme la vitesse des véhicules, le taux de freinage, le niveau de sécurité, le temps de réponse du système freinage-accélération, la station, le temps d'arrêt en station (qui dépend de l'organisation et de la largeur des portes, du niveau du plancher par rapport aux quais, du nombre de montée-descente de voyageurs) et les conflits aléatoires le long de la ligne (qui dépendent du niveau de séparation du site par rapport à la circulation générale).

L'exploitation des systèmes de tramway peut se faire avec des Systèmes d'Aide à l'Exploitation (SAE) qui sont des systèmes de régulation informatisés permettant de décaler les départs, pour respecter les intervalles, et de donner aux conducteurs les indications nécessaires pour régler leur allure par rapport à une marche type.

### **La capacité**

Il faut utiliser un mode de transport ayant une capacité importante et des fréquences élevées, supérieures aux autobus, en heures de pointe pour les axes importants. Les rames de tramway ont une longueur de l'ordre de 30 à 40 m avec possibilité d'ajouter des modules complémentaires.

Avec un intervalle de 4 minutes aux heures de pointe, l'offre peut être de 4000 passagers par heure et par direction (phd). L'exploitation peut s'effectuer en unités multiples de deux véhicules par rame, ce qui porte l'offre à 8000 phd. Pour obtenir encore plus de capacité, l'exploitant doit ensuite réduire l'intervalle, c'est-à-dire améliorer la signalisation, la séparation de sites par rapport à la circulation générale et augmenter le nombre de rames.



# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.2.4. Un système guidé**

Un système guidé permet une trajectoire monotrace contrairement aux bus pour lesquels les roues avant et arrière ne suivent pas la même ligne, notamment en courbe. Cette trace unique ne nécessite qu'une emprise restreinte sur l'espace public car les distances de croisement sont minimales et constamment respectées. Les systèmes guidés de transports en commun n'utilisent qu'un espace au sol très réduit pour le stationnement et rentabilisent au mieux la capacité d'écoulement des voies de circulation même si les dispositions locales sont défavorables.

De plus, le système guidé permet l'accostage du véhicule au quai, à distance minimale et contrôlée, facilitant l'accès des personnes à besoins spécifiques (PBS), des personnes avec des poussettes, valises ou fauteuils roulants quand le véhicule est équipé d'un plancher bas. L'espace résiduel entre le véhicule et le quai est inférieur à 5 cm.

## **1.2.5. Valoriser l'espace urbain**

En réfléchissant à un moyen de déplacement différent, les agglomérations souhaitent maîtriser les flux de déplacement, fluidifier le trafic, optimiser le stationnement et encourager les modes de déplacement doux (vélos, piétons, ...).

Cela permet aussi de repenser l'aménagement urbain en offrant une plus grande qualité de vie, ce que tous les citoyens demandent aujourd'hui.

Un tramway peut être un outil important de l'embellissement d'une ville et de la valorisation du patrimoine. Il permet de repenser une ville, de réaménager les artères et les places empruntées, de rééquilibrer les quartiers. Cela permet d'intégrer des mesures destinées à éviter l'affaiblissement de certains secteurs, de rendre le centre-ville accessible à tous, de valoriser le patrimoine et de favoriser une redynamisation des commerces.

La création d'un axe lourd de transport en commun est l'opportunité de requalifier la zone parcourue par la ligne, en revitalisant les quartiers traversés, et de désenclaver les zones périphériques.

# **CHAPITRE 1 : Les besoins du transport urbain**



## **1.2.6. La progressivité du système**

Un système de métro léger peut être réalisé progressivement : la construction peut se limiter à certains tronçons ou concerner l'ensemble du réseau. Dans certaines hypothèses, il peut être opportun d'améliorer d'abord les principales sections, alors que, dans d'autres, on préférera constituer un réseau de base qui pourra évoluer par la suite. Pour toutes ces raisons, un système de métro léger peut être constitué et être opérationnel, au moins sur une ligne, dans les 3 à 5 ans suivant la prise de décision de sa réalisation.

## **1.2.7. La protection de l'environnement**

La réduction de la pollution dans les centres des villes passe par la réduction du trafic. Les transports en commun sont de très bons moyens pour réduire le nombre de voitures et donc les rejets de matières polluantes. Une personne en transport en commun pollue 10 à 20 fois moins qu'un automobiliste. Il est intéressant de privilégier les véhicules électriques ou au gaz, beaucoup moins polluants qu'un moteur diesel. Cela permet aussi de réduire les dégradations du patrimoine architectural.

Un seul tramway moderne articulé (transportant 250 passagers) remplace en période de pointe de trafic environ 200 voitures particulières dont le nombre moyen de passagers par véhicule est de 1,25 personne(s). Cela correspond à une colonne de voitures de 1,2 kilomètres environ. C'est autant de gaz d'échappement et de décibels en moins dans les rues empruntées.

Le tramway est alimenté par l'énergie électrique : son fonctionnement est donc silencieux. Les performances acoustiques des nouvelles plates-formes de circulation font disparaître toutes nuisances sonores. Les tramways sur pneus sont réputés les plus silencieux. Sur fer, un bruit de crissement peut se produire dans les courbes, particulièrement en cas d'humidité.

Avec ces atouts, le tramway semble particulièrement adapté pour répondre aux problèmes de circulation dans les agglomérations. C'est pourquoi, parmi les villes françaises qui doivent établir un Plan de Déplacements Urbains, déjà 25 ont fait le choix du tramway.

C'est également pour toutes ces raisons que les villes, ayant conservé leur réseau de tramways, cherchent à en améliorer la qualité de service, soit en séparant au maximum les plates-formes de transports collectifs de la circulation générale, soit en donnant la priorité aux transports collectifs de la circulation générale, soit en donnant la priorité aux transports collectifs aux points de conflits que constituent les carrefours à niveau avec la circulation générale.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Au regard des orientations nécessaires à suivre pour les réseaux de transport urbain, le tramway semble être une alternative adaptée. Ainsi, de nombreuses villes sont amenées à redécouvrir ce mode de transport et participent au renouveau du tramway.

Ce renouveau se traduit :

- par des extensions de lignes existantes ou la création de lignes nouvelles dans un grand nombre de villes
- par le développement de matériels roulants plus confortables et plus performants
- par l'amélioration des conditions de circulation de ces systèmes, obtenue par la mise en œuvre de différentes méthodes : voies ou chaussées réservées, passage en tunnel dans les centres-villes, construction de lignes nouvelles sur des sites partiellement ou entièrement réservés.

### **2.1.La relance d'un mode de transport**

En 1975, on dénombrait près de 300 réseaux de tramways urbains dans le monde. Trente ans plus tard, on recense près de 370 réseaux de métros légers ou de tramways exploités dans 58 pays situés sur tous les continents. Plus d'une centaine de lignes sont à l'étude à travers le monde.

#### **2.1.1. En France**

##### **Politique de relance**

Le renouveau du tramway en France a été initié par l'Etat.

En mars 1975, le secrétaire d'Etat aux transports du gouvernement de Jacques Chirac, Marcel Cavaillé, envoie une lettre aux maires de huit villes : Bordeaux, Grenoble, Nancy, Nice, Rouen, Strasbourg, Toulon et Toulouse. Il les invite à étudier la possibilité de réintroduire le tramway dans leur cité.

Cinq mois plus tard, il lance à l'attention des éventuels constructeurs tramviaires un concours national pour l'élaboration d'un mode de transport en site propre afin de définir les normes d'un tramway nouveau. Deux dossiers ressortent des participants dont le premier, Alstom-MTE Francorail, a ébauché le TFS (Tramway Français Standard).

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



A cette époque, on commence à revenir du « tout automobile ». La fameuse phrase du président Georges Pompidou, « Il faut adapter la ville à la voiture », n'est plus d'actualité. Le choc pétrolier de 1973, la pollution et l'engorgement des villes par les véhicules commencent à poser des problèmes.

Pour autant, dans les années 70, le tramway est encore loin d'avoir gagné la partie. L'opinion se souvient encore des anciennes rames bruyantes, lentes, aux voies glissantes et dangereuses. Le mot même de « tramway » est tabou : dans sa missive, le secrétaire d'Etat ne l'a pas employé explicitement. Ce mode de transport a alors encore une image de marque déplorable et dépassée.

### **1985 : Nantes**

Nantes (où l'ancien tramway a disparu en 1958) va être la première ville à se lancer dans l'aventure, alors qu'elle n'était pas incluse dans la liste de Marcel Cavaillé. Le choix de la municipalité, conduite par Alain Chenard, est alors très politique. En 1985, avec la mise en service de l'infrastructure (27 Km), les nantais vont être rapidement conquis et le succès est au rendez-vous. Le tram transporte aujourd'hui 170 000 voyageurs par jour.

Le matériel articulé sur 3 boggies dont le central est porteur, est construit par Alsthom. Il s'agira en fait du seul TFS commandé. Les livraisons auront lieu en 1984-1985 puis une deuxième série en 1988 et 1992.

**Nantes est la première ville française à s'équiper en tramway moderne, en 1985. La décision de la création de la première ligne est prise en 1978 par les élus de l'agglomération. L'enjeu majeur est de réaliser une première ligne de tramway performante et de prouver qu'elle peut se montrer efficace, sans apporter de désordre dans le fonctionnement de la ville.**

La ligne 1 nantaise, première ligne de « tramway moderne », est inaugurée en 1985 et se révèle très vite un immense succès. L'aménagement du site propre et des arrêts, la semi-priorité aux feux et les performances du matériel roulant (80 Km/h en pointe, freinage de récupération) font école. Cette première expérience française de renouveau du tramway réussie, d'autres villes ont suivi.



### 1987 : Grenoble

**Grenoble s'est distingué par un urbanisme et une politique de déplacements novateurs.**

En 1987, Nantes est suivie par Grenoble ; la mise en service (17 Km) s'accompagne d'une « requalification » des quartiers où passent les rames.

Le TFS est pourtant loin de faire l'unanimité. L'accessibilité aux handicapés est exigée, ce qui pousse Alstom à étudier un tramway partiellement surbaissé. Ainsi, naît le TAG (Tramway de l'Agglomération de Grenoble) qui deviendra le véritable tram français de la fin du 20<sup>e</sup> siècle.

### 1992 : Paris

Paris et l'Ile-de-France ont commencé en 1992. Une première ligne, dont l'idée avait été lancée en 1984 par le ministre des Transports de l'époque, Charles Fiterman, est inaugurée entre Bobigny et Saint-Denis. Là, où l'on attendait au départ 20 000 voyageurs par jour, il en vient aujourd'hui 65 000.

### 1994 : Strasbourg

Un autre expérience relance le phénomène : celle de Strasbourg. Là encore, le dossier a été éminemment politique. En 1989, Catherine Trautmann – maire de la ville –, avait clairement annoncé qu'elle renoncerait au projet de métro VAL défendu par la municipalité sortante. En échange, elle proposait la mise en service d'un tramway pour en faire un moyen de lutte contre l'asphyxie automobile et un instrument de politique urbaine. Elle est élue sur ce projet.

Le tramway alsacien est inauguré en 1994 (13 km). Un plan de circulation interdit la traversée de l'« hyper-centre ». Des « parkings relais » sont installés aux portes de la ville, tandis que sont développées des pistes cyclables et des zones piétonnières. En quelques années, la fréquentation des transports publics augmente de 50 %, le centre-ville et le commerce sont dynamisés. On compte par ailleurs 17 % de voitures en moins au cœur de la cité.

**Le tramway a permis de repenser l'urbanisme et d'améliorer la qualité de l'environnement. Il est l'élément central du système de la mobilité et d'une politique qui vise l'intégration de tous les réseaux de transports collectifs de l'agglomération.**

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Après la capitale alsacienne, d'autres villes se sont lancées dans la course : Orléans (où le tram augmente de 18 % la fréquentation des transports en commun), Montpellier, Lyon (qui a réalisé deux lignes simultanément). Depuis l'inauguration de ces dernières en 2000, on compte 30 % de voyageurs en plus par rapport aux prévisions. Inauguré en 1994, le tramway de Rouen est un cas singulier dans la mesure où il est en partie souterrain.

A la suite de ces projets, d'autres villes ont suivi. (voir annexes II & III)

### 2.1.2. A l'échelle mondiale

A l'échelon mondial, sont recensés plus de 370 réseaux de tramways dont la longueur totale est de quelques 25 000 kilomètres. Leur flotte compte environ 50 000 véhicules. Chaque année, ils ne transportent pas moins de 20 milliards de passagers. Reporté au nombre des passagers, il est frappant de constater que, sur les quinze réseaux européens les plus importants, douze se trouvent en Europe centrale et orientale et dans l'ancienne république démocratique allemande (RDA). Dans l'ordre, il s'agit des tramways de Varsovie, Bucarest, Sofia, Prague, Lodz, Cracovie, Katowice, Dresde, Leipzig, Milan, Poznan, Wroclaw, Zagreb et Turin. Cette liste ne tient pas compte de la Russie, car les données disponibles comportent de nombreuses lacunes. Le réseau de tramway le plus impressionnant est celui de Saint-Pétersbourg dont le parc compte plus de 2000 véhicules.

La relance du tramway dans les villes suit une politique différente suivant les pays. Nous pouvons différencier :




Les pays dont les villes gardent d'anciens réseaux et qui continuent à les entretenir et à les améliorer. Ce sont essentiellement : l'Allemagne, la Suisse, la Belgique, les Pays-bas, l'Autriche, les Etats-Unis dans une certaine mesure, le Japon et les pays de l'Europe de l'est.

Parmi les villes européennes, on constate que la plupart, sans avoir de projets d'extension de leurs réseaux, cherchent à les maintenir et à en améliorer la qualité de service, d'autres comme Charleroi et Utrecht ont des projets d'extension.




## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



 Les pays qui avaient abandonné totalement ou presque leurs réseaux de tramway dans les années d'après-guerre et dans lesquels on assiste actuellement à un renouveau du tramway ou du métro léger, sont par exemple la France, la Grande-Bretagne, les Etats-Unis, ... . Dans ces pays, un certain nombre de réalisations ou d'extensions de réseaux ont vu le jour ces dernières années :

- en Italie : Gênes, Rome et Turin
- aux Etats-Unis : Buffalo, Portland, Sacramento, San Diego et San José
- au Canada : Calgary et Edmonton.

De nombreux projets sont à des stades de préparation plus ou moins avancés.

 Les pays qui n'ont jamais eu de tramway et qui n'ont pas de projets, c'est le cas de la plupart des pays d'Amérique du Sud, d'Afrique et d'Extrême-Orient où seules de très grandes villes s'équipent en métros lourds, les villes moyennes se limitant à des transports routiers.

La taille des villes desservies par les réseaux de tramways ou métros légers est très variable selon les continents et les pays. La répartition, selon leur taille, des villes équipées de métros légers, fait apparaître que la taille des villes les mieux adaptées au tramway ou métro léger se situe entre 100 000 et 700 000 habitants.

Toutefois, on trouve encore de nombreux réseaux de métros légers dans des villes allant jusqu'à 1,5 millions d'habitants : c'est le cas des réseaux américains dont la morphologie se caractérise par des longueurs de ligne plus grandes et par des pourcentages de sites propres et séparés plus importants qu'en Europe car ils utilisent souvent des plates-formes ferroviaires ou autoroutières.

### **2.2. Les nouvelles solutions**

Le tramway est un mode de transport adapté aux nouvelles contraintes urbaines. Mais le renouveau de ce type de transport n'aurait été possible sans des innovations et modernisations afin de faire disparaître l'image désuète du tramway. Complémentaire du tramway classique, le tramway sur pneus est une innovation importante. Il permet de franchir des pentes inaccessibles au tramway classique mais aussi de réaliser des réseaux avec des investissements moins importants.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



### 2.2.1 La voie

#### Voie unique et voie double

Il est intéressant de noter qu'un certain nombre de métros légers parmi les plus récents, ont été prévus pour une circulation sur voie unique, en ménageant quelques passages à voie double pour permettre les croisements. C'est le cas notamment en Suisse avec la ligne du réseau de Neuchâtel, aux Etats-Unis avec les lignes des réseaux de la Nouvelle-Orléans, Pittsburgh, Philadelphie, Sacramento et San Diego.

L'intérêt de cette configuration est qu'elle permet des économies sur les investissements de génie civil. De plus, elle facilite l'implantation de certains tronçons sur des sites séparés. En contrepartie, elle a l'inconvénient de pénaliser la fréquence de la ligne. Elle nécessite une signalisation particulière pour assurer la sécurité et des moyens de régulation pour optimiser cette fréquence.

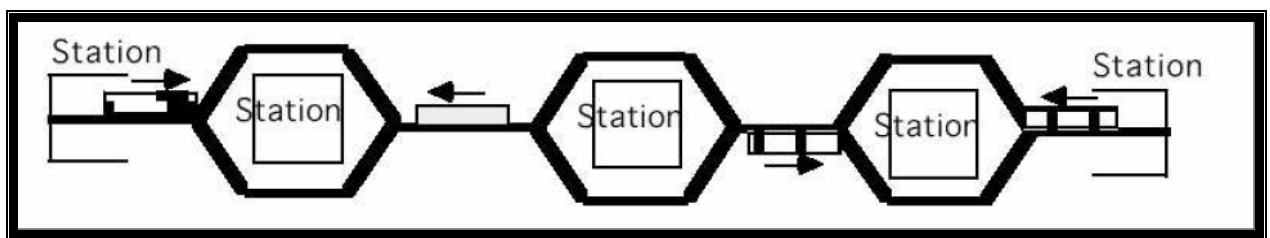




Figure 3: Principe d'une ligne en voie unique, MARX Pierre, Intérêt et faisabilité du mode d'exploitation en voie unique pour des systèmes de transports en site dans les villes moyennes, METRAM, Villeurbanne, 1989

#### Caractéristiques de la voie

Lors de la réapparition du tramway en France, dans les années 80, les entreprises de travaux publics s'étaient inspirées des voies ferroviaires pour réaliser les plates-formes de circulation. A la suite des différents projets, les types de voies se sont différenciés.

Les techniques de construction des voies peuvent être classées en trois catégories :

-  La voie noyée qui est généralement utilisée en site banalisé, est caractérisée par l'emploi d'un rail à gorge qui permet l'accès des véhicules routiers, le passage des piétons et des cyclistes, ...
-  La voie sur ballast est le type actuellement le plus répandu pour les sites séparés ou site propre intégral. Elle est caractérisée par l'utilisation du rail Vignole infranchissable par des véhicules routiers et difficilement franchissable par des cyclistes.



## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



La voie découverte sur béton avec l'utilisation de rails Vignole est le type de voie le moins répandu. On le trouve surtout sur les ouvrages tels que viaduc, pont ou tunnel. Le réseau de Cologne, promoteur de ce type de construction, possède plus de 25 Km d'axes de ce type de voie appelé à être utilisé chaque fois que la voie passe sur un ouvrage en béton.

L'écartement des voies varie selon les pays, en général on rencontre l'écartement normal de 1435 mm (ou 4 pieds 8,5 pouces) ou l'écartement métrique sur les réseaux européens anciens, comme en Suisse par exemple. Plus rare, l'écartement étroit de 900 mm à Lisbonne, à Linz, où l'écartement large de 1524 mm (ou 5 pieds) dans les pays de l'ex bloc soviétique et aux USA.

### **Composition des voies**

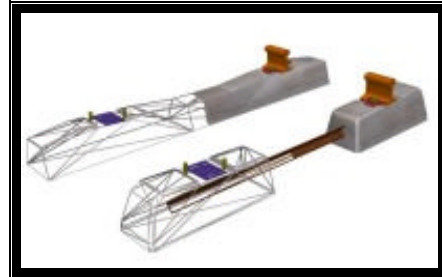
Quel que soit le type de la voie, un tramway « fer » sur rail nécessite des travaux importants pour la réalisation de la plate-forme. Les plates-formes de tramway sont constituées, pour la plupart, de traverses en béton, elles-mêmes calées dans une couche de béton et sur lesquelles sont fixées les rails.

Pour réduire la hauteur de terrassement, et donc les frais de pose, un fabricant de traverses a développé une traverse dotée d'armatures métalliques à sa base. Ainsi la traverse participe mieux à la résistance de la structure. Par conséquent, la hauteur de la sous-couche de béton peut-être réduite de 10 centimètres.

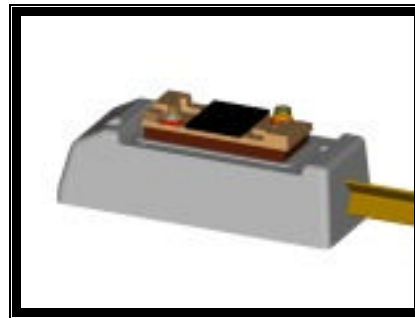
## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



**Figure 4 : Pose de traverse, Place de la comédie à Montpellier, Sateba**



**Figure 5 : Représentation d'une traverse classique en béton et d'une nouvelle traverse béton-acier, Sateba**



**Figure 6 : Traverse avec semelle anti-vibratile avant pose du rail, Sateba**

Les rails, posés sur un système d'amortisseurs qui absorbent les vibrations, permettent au tramway moderne d'évoluer en silence.

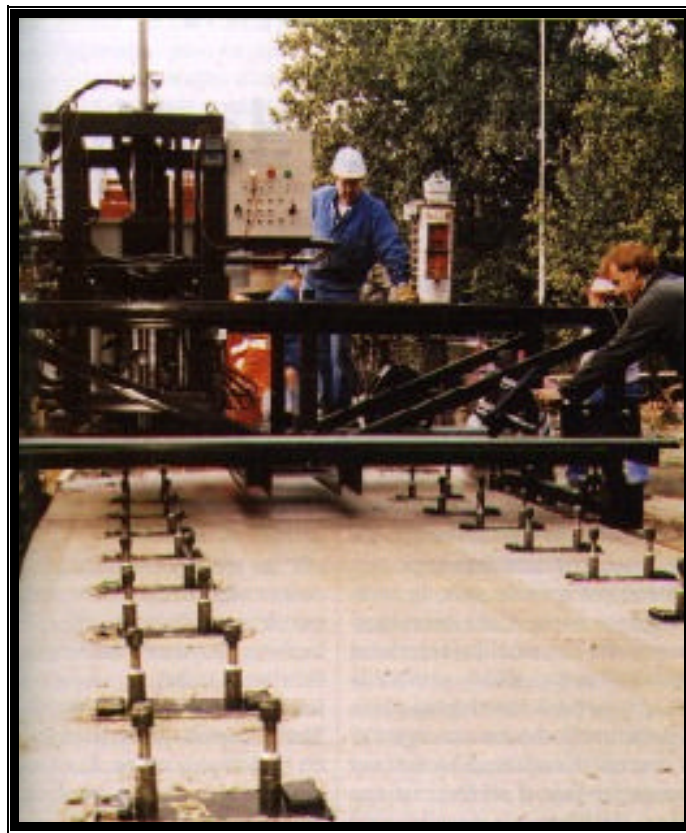
Une deuxième innovation consiste à se passer de traverses. La hauteur de plateforme est ainsi réduite et les coûts de génie civil allégés. A Orléans, certaines sections du tramway ont une voie dont les selles de rails sont directement calées dans du béton armé. Cette technique nécessite l'utilisation de gabarits pour la pose. Cela induit un temps d'installation légèrement plus long mais la hauteur de terrassement est réduite de 14 centimètres. De plus, une éclisse constituée de caoutchouc est intercalée entre le rail et le revêtement (pavés, dalles, ...). Elle permet de limiter la transmission des mouvements du rail au revêtement et d'en éviter la dégradation.

Cegelec, une division d'Alstom a mis au point un système de pose automatique des selles de rails avec l'entreprise Franex. Une couche de béton est préalablement moulée en continu. Une machine, circulant sur des rails de chantier, insère par vibrations dans le béton encore frais les selles munies de leurs ancrages.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Ce procédé est plus rapide puisqu'il s'affranchit des gabarits. Cette technique permet de réaliser 80 mètres de voie double par jour, soit quatre fois plus qu'avec un procédé classique. En comptant le gain de 5 à 6 centimètres sur la hauteur de plate-forme, Cegelec annonce au final une économie de 14 % par rapport à une pose traditionnelle. Une voie de démonstration a été réalisée fin 1997. Pour optimiser encore la pose, certains ingénieurs songent déjà à substituer les rails de chantier par un guidage optique.



**Figure 7 : Machine insérant par vibration les selles de fixation de rail dans le béton encore frais, Cegelec**

### **2.2.2 Le matériel roulant**

Les véhicules de métros légers doivent être attractifs, donc modernes. La tendance de ces dernières années est à l'aménagement de l'offre de transport et de la productivité : les véhicules sont de taille importante, de 20 à 40 mètres de long et de 2,20 m à 2,65 m de large avec la possibilité de former des rames en unités multiples (une ligne à Guadalajara est construite pour être exploitée par des rames de 5 voitures, de 150 mètres de long). La capacité unitaire de ces véhicules se situe entre 200 et 300 passagers.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



L'utilisation de hacheurs de courant avec les moteurs de traction permet la commande progressive de la traction qui offre un confort de roulement et une meilleure utilisation de l'adhérence et des gains de consommation au démarrage et à vitesse réduite. Il est possible de récupérer de l'énergie électrique avec le freinage si l'installation électrique est adaptée.

Les moteurs asynchrones alimentés par des convertisseurs apparaissent progressivement : cette technologie apporte une réduction des frais d'entretien du moteur exempt de collecteur et de construction particulièrement robuste, une diminution du poids et du volume du moteur par la suppression du collecteur, la possibilité d'augmenter la vitesse de rotation maximale et une réduction de l'appareillage.

L'augmentation des vitesses commerciales nécessite d'améliorer les performances de vitesse et d'accélération, la tendance étant d'augmenter la motorisation. Ainsi, on constate que la puissance massique à vide des véhicules sortis en 1960 se situe entre 10 et 12 kW/tonne, celle des véhicules qui sortent en 1980 se situe entre 12 et 14 kW/tonne.

Ces véhicules offrent le confort souhaité par les usagers, confort que l'on trouve au niveau des accès (plancher bas), des sièges, du chauffage, de la climatisation si nécessaire, de la signalétique, de la sonorisation, de l'éclairage, des couleurs.

### **Le matériel roulant à plancher surbaissé**

On constate que certains réseaux adoptent des véhicules à plancher bas pour faciliter l'accessibilité de leurs usagers notamment ceux à mobilité réduite, pour améliorer le temps d'échanges en station et pour faciliter l'insertion des quais en site urbain. Ces véhicules à plancher bas sont apparus au cours des années 1980.

Ainsi, le réseau de Genève adopte en 1984 un véhicule articulé (Duwag et A.C. de Vevey) dont le plancher se situe à 48 cm du plan de roulement sur une longueur de 12,50 m au droit des accès, mais, il subsiste un emmarchement interdisant l'accès des fauteuils roulants.

En 1987, le réseau de Grenoble s'équipe de véhicules à plancher surbaissé, dérivés du tramway français standard (Alsthom), dont le plancher se situe à 34,5 cm au-dessus du plan de roulement sur une longueur continue de 17,85 m au droit des accès.

Ensuite, de nombreux réseaux adoptent les véhicules à plancher bas qui peuvent être classés selon deux types : le plancher bas partiel entre les boggies de traction et le plancher bas sur la totalité du véhicule, sans marche intérieure, qui tend à supplanter la première catégorie.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



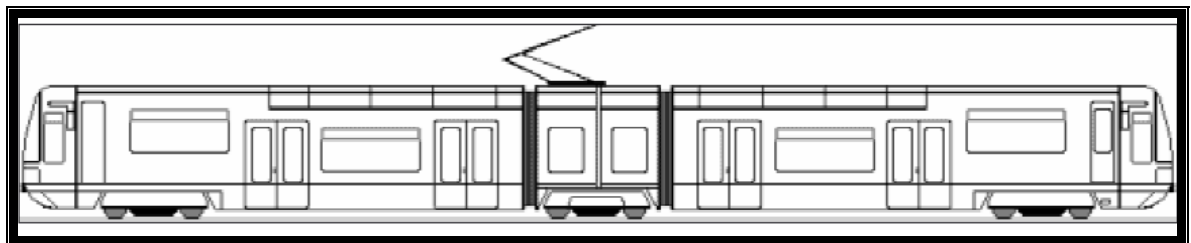
### **Le Tramway Français Standard TFS**

Le concours d'idées lancé en 1975 concernant le projet de tramway français standard avait pour but de relancer l'utilisation du tramway dans les villes moyennes françaises.

Conçu et construit par Alstom (l'actuelle Alstom), le Tramway Français Standard, aussi appelé par ses initiales « TFS », est né en 1986. Produit à plus de 150 exemplaires, il est emblématique du retour du tramway en France. (voir annexe IV)

Nantes est la première agglomération en France à se lancer dans la reconstruction de lignes de tramways. La préférence nationale étant alors la règle pour les contrats d'équipements publics, c'est naturellement un groupement d'entreprises françaises que l'on sollicite pour le matériel roulant (Alstom, Francorail, MTE, CIMENT et TCO).

Après un succès de taille à Grenoble puis à Paris, il paraissait destiné à équiper l'ensemble des villes françaises où se recréait un réseau de tramway. Mais, Strasbourg, en choisissant un tramway de marque différente en 1994, a cependant mis un coup d'arrêt brutal à sa commercialisation. Il est aujourd'hui remplacé, à la fois au catalogue d'Alstom et dans la plupart des nouvelles métropoles converties au tramway, par la gamme Citadis, moins chère à l'achat et à plancher bas intégral.



**Figure 8 : Vue de profil du TFS, RATP, 1998**

Alstom qui pilote le projet, mais n'avait jusque là à son catalogue que du matériel ferroviaire lourd (métros et locomotives), conçoit, spécialement pour l'occasion, des rames de tramway entièrement nouvelles en reprenant et en adaptant tout de même certains équipements des rames de métro MF-77 qu'il est en train de produire pour la RATP et qui représentent alors le nec plus ultra en matière de transports urbains. Malgré de nombreuses qualités, il est limité par son incapacité à circuler en couplage (ou « unité multiple »).

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Le cahier des charges initial du TFS prévoyait une rame de type « métro léger » à desserte fine et non un transport de masse. La capacité des TFS qui était un atout par son caractère intermédiaire entre un bus et une rame de métro est devenu sa limite. Le plancher bas partiel était son point fort lors de sa création mais les progrès techniques permettent à l'heure actuelle un plancher bas intégral.

### **Le tramway sur pneus**

Le terme « tramway sur pneus » est actuellement utilisé avec abus car il regroupe tous les moyens de transports hybrides situés entre l'autobus, avec lequel il partage le roulement sur pneumatiques, et le tramway, avec lequel il partage le guidage et l'alimentation électrique. Il s'agit donc dans un premier temps de différencier le tramway des autres modes de transport.

Ce système, également transport routier guidé, dispose de deux principaux atouts. Le coût d'investissement est moindre que celui d'un tramway fer classique car la plate-forme demande moins de travaux de génie civil et, circulant sur pneus, ses rames sont capables de franchir des pentes inaccessibles au tramway classique (jusqu'à 13 %).

Le transport routier guidé est dirigé soit par un galet suivant un rail central (guidage mécanique), soit par une cellule optique suivant un trait tracé sur son chemin (guidage optique). Nous pouvons distinguer trois degrés de guidage :



Guidage matériel conception tramway classique : c'est le tramway sur pneus. Le système est basé sur le rail central et le véhicule est conçu pour ne fonctionner qu'avec ce rail (exemple : **future ligne de Clermont-Ferrand**).



Guidage matériel conception trolleybus : c'est le système de Nancy ou Caen par exemple. On a ajouté à un matériel un rail central. Ce véhicule peut donc s'affranchir du rail. C'est un TVR (Transport sur Voie Réservée).



Guidage optique : le véhicule peut être un autobus ou un trolleybus classique auquel on ajoute simplement le système de reconnaissance du marquage au sol. Des lignes de ce type sont en circulation à Las Vegas et à Rouen. **Véhicule de type TVR.**

Nous distinguerons ici le tramway sur pneus (guidage mécanique sur rail) du TVR qui est un système entre l'autobus/trolleybus et le tramway. Le TVR sera développé dans une partie traitant des modes de transports concurrents du tramway.



## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



**Figure 9 :Le TVR de Bombardier sans le rail de guidage, Tramways & Urban transit, mai 2001**

Malgré une silhouette proche de celle d'un tramway, ce véhicule est un TVR, pouvant s'affranchir de rails pour circuler.

Aujourd'hui, le seul fabricant de tramways sur pneus tels que définis précédemment est Lohr, avec le Translohr apparu en juillet 2000. (voir annexe V)

Ce tramway est équipé d'essieux pneumatiques à la place de boggies ferroviaires, tout en gardant les caractéristiques d'un tramway : la traction électrique, le fonctionnement bidirectionnel, le poste de conduite central et le guidage par rail permanent.



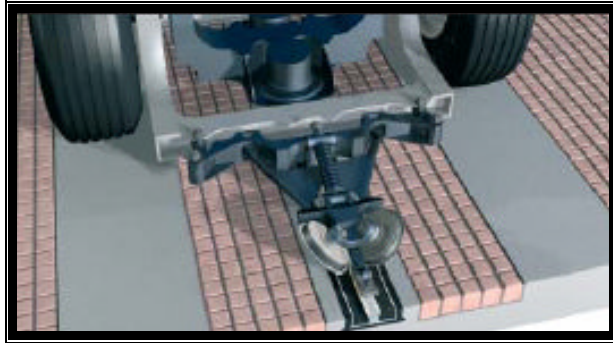
**Figure 10 :Translohr en circulation, LOHR, 2004**

Les essieux sont situés soit sur les modules d'extrémité, soit sur les modules de liaison. Ainsi, les rames passagers sont suspendues, ce qui permet une adaptation au relief.

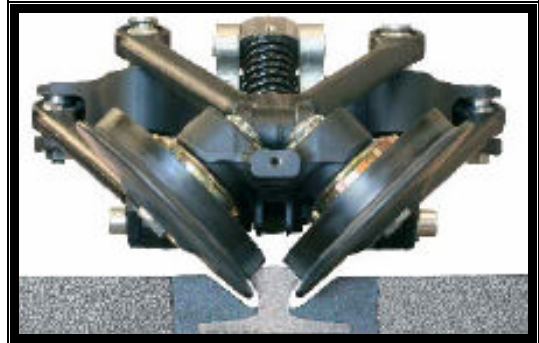
Les roues du véhicule sont guidées par deux modules aux extrémités externes d'une armature. Celle-ci remplace l'essieu et permet un plancher bas intégral. Chaque module a deux galets inclinés à 45° par rapport au rail et 90° entre eux ; Ces galets saisissent efficacement le rail, et de ce fait empêchent le module de dérailler.

Par ce système, les galets n'exercent qu'une force faible sur le rail de guidage (75 kg par galet), ce qui nécessite une structure beaucoup moins importante et réduit le coût d'installation. Le poids du véhicule est transmis par les pneus en caoutchouc. Ce système de guidage est conçu aussi pour limiter l'usure et le bruit car les galets ne pèsent pas sur le rail. L'utilisation de pneumatiques permet une adhérence supérieure au contact fer-fer des tramways classiques.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



**Figure 11 : Représentation de l'armature de fixation des roues avec les modules de guidage aux extrémités, TRANSLOHR, juin 2004**



**Figure 12 : Coupe sur le rail de guidage avec représentation des galets, TRANSLOHR, juin 2004**

Le véhicule est alimenté de la même façon qu'un tramway fer. Le courant est collecté par un pantographe et le retour se fait par le rail central.

Pour s'adapter à la fréquentation, ce tramway est modulaire. L'adjonction de modules passagers (entre 2 et 5) permet d'accueillir de 80 à 250 voyageurs sans modification de gabarit ni emprise au sol.

Une silhouette semblable aux tramways « fer » et un plancher bas intégral à 25 cm du sol lui assurent une mise en concurrence avec ces derniers. Mais ce modèle de tramway est récent et il manque de retour sur expérience.

Plusieurs villes ont fait le choix de ce tramway sur pneus : L'Aquila, Padoue, Venise (Italie), Sankai (Japon) et Clermont-Ferrand.



## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



### 2.2.3 L'alimentation par le sol – APS –

Le retour du tramway dans les villes a entraîné aussi la réapparition des caténaires et de leurs poteaux. Ces éléments techniques sont une source de mécontentement venant des défenseurs du patrimoine architectural alors que la tendance est à l'enfouissement des lignes aériennes en centre-ville et qu'on présente le tramway comme un outil du réaménagement urbain.

L'idée d'éliminer les fils du tramway n'est pas nouvelle. En 1984, apparaît à Cleveland aux Etats-Unis un dispositif d'alimentation par le sol. Ce dispositif était composé d'une galerie maçonnée parallèle à la voie de circulation. Il enfermait les deux conducteurs électriques reliés à la centrale électrique. La galerie possédait un conducteur sur lequel le véhicule venait s'alimenter par l'intermédiaire d'un frotteur. Mais ce système comportait quelques défaillances, notamment les jours de pluie, et les risques d'électrocution étaient présents en particulier pour les chevaux.

Concernant le tramway moderne, les moyens d'alimentation par le sol ont évolué.

Plusieurs constructeurs travaillent sur l'alimentation du véhicule en 700 volts par le sol, grâce à un « troisième rail », comme pour le métro. A une différence près, ce rail d'alimentation doit être parfaitement sécurisé pour que les piétons puissent traverser les rues sans risquer l'électrocution.

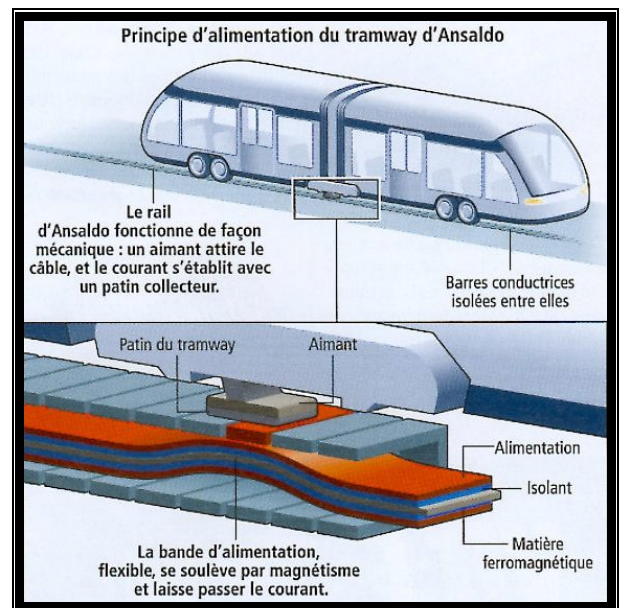
**L'APS est un système d'alimentation au moyen d'un troisième rail encastré au niveau des voies.**

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



L'italien Ansaldo a développé, dès 1994, une solution qui fait appel à un principe magnétique. L'alimentation du tramway est réalisée par une bande plate conductrice reposant au fond d'un conduit étanche. La motrice du tramway est équipée d'un aimant puissant qui attire la bande. Le câble n'affleure donc que lorsque le tramway est au-dessus de lui. Une fois le véhicule passé, il retombe au fond du conduit et le piéton peut marcher sur le rail sans problème.

Ce système a été testé à Trieste, en Italie. Toutefois, il manque de fiabilité et sa sécurité reste à démontrer ; le principe mécanique assurant la retombée du câble sous son propre poids, après le passage du train, pourrait connaître des dysfonctionnements.



**Figure 13 : Principe de l'alimentation développée par Ansaldo, L'Usine Nouvelle, 27 avril 2000**

Deux autres entreprises, Spie Enertrans et Alstom, développent un système différent avec des segmentations.

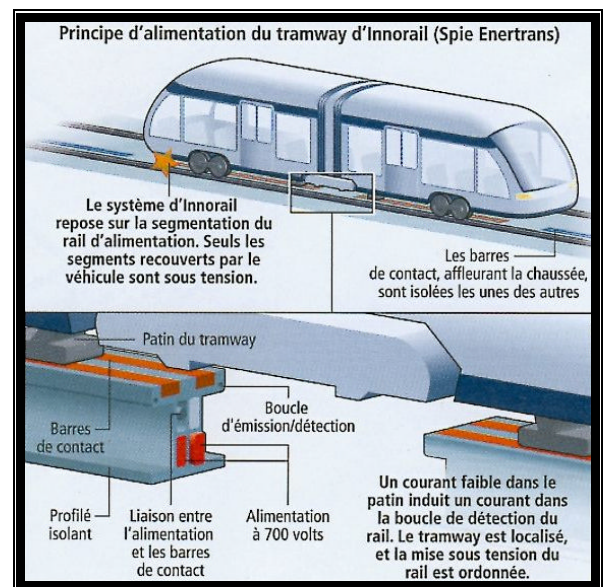
Le système de détection du tramway qui déclenche la mise sous tension du segment de rail, diffère entre les deux projets. Spie Enertrans utilise une boucle d'induction qui signale la présence du véhicule. Tandis qu'Alstom a développé le courant porteur. L'information passe ainsi par contact entre le patin et la section.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Le rail d'alimentation est découpé en segments, et il faut alimenter que le segment sur lequel se trouve le tramway. Chaque segment est relié à son propre circuit d'alimentation électrique, muni d'une carte de commande électronique.

Le rail de Spie Enertrans est découpé en segment de 8 mètres séparés par 3 mètres d'isolant. Un découpage qui nécessite deux patins collecteurs espacés d'un peu plus de 3 mètres sous le tramway, de telle manière qu'au moins l'un des deux soit en contact avec un segment sous tension. Sur le rail d'Alstom, l'espace isolant entre les sections ne mesure que quelques centimètres. Un unique patin suffit, puisqu'il peut chevaucher deux sections. Le retour de courant s'effectue par les roues dans les deux cas.



**Figure 14 : Principe de l'alimentation développé par Spie Enertrans, L'Usine Nouvelle, 27 avril 2000**

Les trois systèmes rencontrent la même difficulté : l'eau. Le tramway ne peut pas fonctionner en cas de submersion de la chaussée. Plusieurs projets étudient la prévention des infiltrations en injectant de l'azote gazeux dans le boîtier. Mais, dans tous les cas, en présence de grosses flaques, et particulièrement si l'eau contient du sel, un court-circuit peut se produire entre les segments. Les constructeurs reconnaissent et admettent que l'eau constitue une limite majeure pour l'exploitation du système, ce qui impose un excellent drainage de l'infrastructure.

Il est intéressant de supprimer l'aspect inesthétique des lignes aériennes de contact (LAC), notamment dans les centres historiques. C'est pourquoi le tramway de Bordeaux, mis en service en 2003, comprend une section avec une alimentation par le sol (APS) dans le centre historique. Ce type d'alimentation étant encore expérimental, il nécessite diverses expérimentations pour atteindre la fiabilité de la LAC. Pendant les premiers mois de 2004, jusqu'à sept versions ont été produites. Début juillet, le système APS posant encore des problèmes, le maire de Bordeaux s'est vu dans l'obligation d'imposer un ultimatum au constructeur (Alstom), précisant que la persistance des difficultés pourrait entraîner un abandon de la technologie APS au profit de la LAC sur tout le réseau.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Une autre solution pour supprimer les caténaires est l'utilisation de batterie comme c'est le cas à Nice. Ces batteries embarquées prennent le relais de l'alimentation aérienne sur les grandes places de la ville.

Outre l'aspect esthétique, l'alimentation par le sol a d'autres avantages. Le temps de construction est raccourci, les travaux d'alimentation étant réalisés en même temps que la pose des rails. Les longues négociations avec les copropriétés pour les ancrages de fils en façade sont éliminées et, en l'absence de poteaux, la largeur de la plate-forme peut être réduite de 10 %. Enfin, l'absence de caténaires permet le passage de convois exceptionnels, impossible sous les fils aériens traditionnels.

### 2.2.4 Les batteries embarquées

**Système d'autonomie embarquée permettant de traverser des zones urbaines inférieures à 1 km à 30 km/h.**

C'est une technologie qu'Alstom a développée, en première mondiale sur du matériel roulant ferroviaire, pour le tramway de Nice. Cela a permis de préserver le caractère historique de deux places (Place Massena et Place Garibaldi) grâce à l'absence de poteaux caténaires et de lignes aériennes de contact.

La batterie est une solution d'autonomie embarquée permettant au tramway de traverser des zones urbaines inférieures à un kilomètre sans lignes aériennes de contact, à une vitesse maximale de 30 km/h.

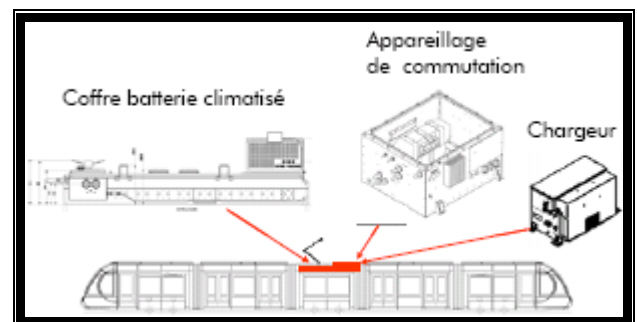


Figure 15 : Principe de la batterie embarquée, Alstom

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



Figure 16 :Pupitre de commande, Tramway de Nice, Alstom

C'est une solution, préservant un espace urbain limité, simple pour des besoins limités.

Le conducteur appuie sur un bouton poussoir pour initialiser la séquence de passage en mode batterie. Le pantographe, reliant le tramway aux lignes de contact, s'abaisse. Le tramway puise ainsi son énergie dans une batterie positionnée sur le toit et non plus sur le réseau électrique. Une fois, le secteur franchi (place, pont, ...), le conducteur appuie à nouveau sur le bouton et le pantographe revient en position haute. La batterie se recharge pendant le parcours sous caténaire.

### 2.2.5 La régulation de trafic

Afin, d'une part, d'assurer la sécurité des circulations sur les zones en site propre et, d'autre part, d'améliorer la régularité des lignes en site banalisé, de nombreux réseaux ont été amenés à introduire des aides à l'exploitation sur leurs lignes de tramways. Ces aides peuvent être classées en deux catégories :

#### Priorité aux feux au niveau des carrefours

On obtient une amélioration sensible de l'exploitation du métro léger lorsqu'une grande partie du réseau se trouve en site séparé et si les temps morts sont supprimés au droit des carrefours à niveau avec la circulation générale. La majeure partie des pertes de temps, imputables aux causes extérieures à l'exploitation, proviennent de la signalisation par feux. Ces pertes de temps peuvent, dans certaines villes, représenter 10 à 20 % du temps de rotation.

#### Systèmes de surveillance et de régulation centralisée

De tels systèmes sont particulièrement utiles pour l'intégration des services assurés par les autobus, trolleybus et métros légers d'une agglomération, car ils peuvent surveiller l'ensemble de l'exploitation, détecter les incidents, permettre le respect des horaires afin que les correspondances soient assurées en souplesse.

L'ordinateur localise les véhicules et compare les situations théoriques avec les situations réelles en ligne ; c'est le suivi de l'exploitation en temps réel.

L'analyse des informations recueillies permet d'établir les comptes-rendus d'incidents et les statistiques, ce qui permet d'améliorer l'exploitation ; c'est le suivi de l'exploitation en temps différé.





### 2.2.6 Interférence automobile-tramway

Alors que les tramways d'avant guerre étaient réputés accidentogènes et source de ralentissements de la circulation en ville, les tramways modernes ont un mode de fonctionnement qui tient compte de la circulation automobile.

Ainsi, la gestion des interférences aux intersections est un point important sur une ligne de tramway. Celui-ci empruntant un site réservé, il doit régulièrement traverser les voies de la circulation automobile. Afin de garantir une vitesse commerciale satisfaisante et des fréquences régulières, la plupart des villes ont fait le choix d'une priorité aux intersections.

Le niveau de priorité accordé au tramway doit être modulé en fonction du débit des véhicules sur la ligne :

- Pour les débits inférieurs à 30 véhicules/heure/sens, le franchissement des carrefours s'effectue à niveau avec un bon degré de priorité donné au tramway. Régularité et vitesse sont maximales.
- Pour les débits compris entre 30 et 60 véhicules/heure/sens, le fonctionnement des feux de circulation ne peut plus accorder une priorité élevée car la capacité des routes transversales serait trop réduite.
- Les débits supérieurs à 60 véhicules/heure/sens sont rarement observés.

La prise en compte du tramway dans la régulation des feux peut être individuelle ou bien s'effectuer dans le cadre d'un système de régulation centralisé.

#### **La prise en compte individuelle**

Un système détecte le tramway en amont du carrefour, modifie le cycle des feux pour lui donner la phase verte et rétablit ensuite le cycle normal ou un cycle compensateur.

Le gain de temps moyen aux feux est de l'ordre de 10 secondes par rame et par carrefour équipé.

#### **La prise en compte centralisée**

Les régulations centralisées des feux agissent de manière homogène et coordonnée sur les différents carrefours d'un axe ou d'une zone. Ces plans de feux attribuent souvent des ondes vertes aux axes prioritaires par enclenchements successifs en se basant sur une progression moyenne des véhicules. Cela les rend inadaptés aux variations apportées par la priorité des transports en commun.

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



S'il n'y a qu'un passage de rame par cycle, c'est la solution d'une prise en compte individuelle qui est la plus efficace.

S'il y a plus d'une rame par cycle, la solution passe par un traitement global de l'axe avec une prise en compte dans la gestion globale.

### 2.2.7 Esthétique

Alors que les tramways anglais ou allemands se doivent d'être efficaces avant tout, les tramways français rivalisent d'originalité. Les élus utilisent d'ailleurs souvent des designers pour dessiner la ligne de « leur » tramway. Mais cette tendance ne favorise pas la construction de modèles standards de trams ce qui limiterait leur coût.



**Figure 17 : Tramway de Rotterdam (2002) modèle Citadis d'Alstom, Alstom**



**Figure 18 : Tramway de Lyon (2001) modèle Citadis d'Alstom, TCL**



**Figure 19 : Tramway de Bordeaux**



**Figure 20 : Tramway de Valenciennes**



**Figure 21 : Tramway de Montpellier**

## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



### 2.3. Le tramway moderne face aux autres modes de transport guidé<sup>4</sup>

Au cours de ces vingt cinq dernières années, le tramway se développe à nouveau comme moyen de transport alternatif à la voiture et aux bus. Mais, il n'est pas le seul système à profiter de ce retour vers les transports en commun en site propre, d'autres modes de transport émergent ou se modernisent. Tous ne connaîtront pas le même succès. (voir annexe VI)

#### 2.3.1 Le métro automatique type VAL

Alors qu'Alstom développe un Tramway Français Standard, Matra, via sa filiale Matra-Transport conçoit un système de métro automatique : le VAL.

Les lignes de métro léger sont dimensionnées pour offrir de l'ordre de 2500 phd avec des rames d'un véhicule, les lignes de VAL sont dimensionnées pour offrir 9600 phd avec des rames d'un élément.

La vitesse commerciale du métro léger est de l'ordre de 18 à 22 km/h en France, tandis que celle du VAL se situe entre 32 et 34 km/h, cette différence étant principalement due au site propre intégral nécessaire pour exploiter un métro automatique.

Les analyses comparatives de ces deux systèmes<sup>5</sup> font apparaître qu'en moyenne sur plusieurs lignes :

« - Les équipements liés au système et le matériel roulant du métro automatique ont un coût égal en moyenne au double jusqu'au triple de celui des équipements liés au système de métro léger et son matériel roulant, pour le 1<sup>er</sup> système l'offre est de 9600 phd et pour le second l'offre est de 2500 phd. »

« - Le génie civil et les dépenses annexes ont un coût pour le système Val égal en moyenne au double jusqu'au triple de ceux du métro léger, le site propre intégral étant obtenu en général en réalisant un tunnel sur 40 à 90 % d'une ligne, le métro léger se satisfait d'un site propre en surface avec une partie en tunnel (de l'ordre de 10 % seulement). »

Le système métro automatique convient donc mieux à d'importantes fréquentations mais nécessite des investissements supérieurs au tramway. Il est adapté aux sites à fort trafic. Pour les villes qui possèdent peu d'espace disponible, la mise en site propre totale, souterrain ou aérien, s'impose. Dans ce cas, la mise en concurrence entre les deux systèmes est à envisager.

<sup>4</sup> « Par transport public guidé, on entend tout système de transport public mettant en œuvre des véhicules qui sont assujettis à suivre sur tout ou partie de leur parcours une trajectoire déterminée, que ces véhicules circulent ou non sur une emprise spécialement affectée. » - Définition générale confortée par l'avis du Conseil d'Etat le 25 mars 2003

<sup>5</sup> KUHN Francis, *Le tramway moderne ou le métro automatique*, INRETS, avril 2003



## CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway



### 2.3.2 Le Tram-Train

Le tram-train est un système qui permet à une même rame de circuler sur des voies de tramway en centre-ville et de relier des stations situées en périphérie, voire au-delà, en circulant sur le réseau ferroviaire régional. Cela nécessite un matériel compatible avec le chemin de fer classique (puissance, résistance, signalisation). L'offre de ce transport en commun est alors vaste et contribue à un maillage plus efficace de l'ensemble du réseau, notamment en cas de combinaison avec le tramway classique.

Ce mode de transport est intéressant car il utilise des voies existantes mais, en contrepartie, il doit les partager avec les réseaux de trains et les voies doivent être dans le corridor utile.

### 2.3.3 Le Trolleybus et ses évolutions

Des systèmes de trolleybus guidés ont été développés ces dernières années, ils se rapprochent plus du tramway que du bus. Avec le phénomène de renouveau du tramway, ils sont plus souvent appelés tramway sur pneus que trolleybus, qui garde une image de véhicule démodé. Mais ce n'est pas un tramway, il s'agit du TVR.

#### **Le TVR (Transport sur Voie Réservée)**

Ce véhicule ressemble fortement au tramway sur pneus et possède les mêmes avantages. Il se différencie par la possibilité de quitter ponctuellement sa trajectoire en cas d'incident de parcours.

En France, le TVR est considéré comme un véhicule routier et doit respecter le code de la route. De ce fait, il est immatriculé et ne peut dépasser 24,5 m de long, ce qui limite son autonomie.

En raison des difficultés rencontrées par les premiers réseaux français actuellement en exploitation – notamment Nancy et Caen –, il est encore trop tôt pour pouvoir se prononcer sur l'avenir de cette technique.

Un inconvénient supplémentaire voit le jour : à l'exploitation, ce type de ligne se révèle plus onéreux qu'un tramway classique. Ce serait dû au fait que les pneus provoquent des ornières, par conséquent, les coûts d'entretien s'avèrent plus importants.

## **CHAPITRE 2 : Le renouveau du tramway**





### **2.3.4 Autobus guidés**


Le guidage des autobus apporte une aide à la conduite à l'approche des quais. Cela permet une meilleure accessibilité aux personnes à mobilité réduite et une distance constante entre le véhicule et le quai.

#### **Les différents types de guidage**

De nombreuses recherches et expérimentations ont été menées au cours de ces vingt dernières années dans différents pays sur les méthodes du guidage des autobus. Seuls les systèmes immatériels de guidage ont été retenus. Les guidages matériels par rails sont développés dans la partie trolleybus. Nous évoquerons ci-dessous trois méthodes de guidage :

 Le guidage mécanique : le guidage mécanique des autobus est assuré par des murets verticaux situés le long des voies de roulement, l'autobus étant équipé de roues de guidage latérales qui agissent sur les fusées de l'essieu avant, appelé système O-Bahn. Aujourd'hui, aucun réseau n'exploite ce type de guidage.

 Le guidage magnétique : un fil enterré dans le sol émet des ondes électromagnétiques détectées par le véhicule. Seul un véhicule (Phileas) est utilisé aux Pays-Bas en phase de test.

 Le guidage optique : une caméra placée derrière le pare-brise lit sur la chaussée le marquage codé qui matérialise la trajectoire imposée. Un ordinateur analyse la position du véhicule par rapport à la voie et transmet à la colonne de direction les corrections nécessaires. Ce système est utilisé à Rouen depuis février 2001 sans problème technique particulier.

Les autobus guidés sont soumis au code de la route, ils ne doivent donc pas dépasser 24,5 m de long ; et malgré un site propre intégral, ils ne peuvent pas obtenir les mêmes niveaux de fréquences et de capacité qu'un tramway. La capacité des véhicules guidés peut nuire actuellement au développement de ce type de guidage face au tramway. Pour les agglomérations de taille moyenne qui n'ont pas besoin d'une capacité importante, ce type de transport est une alternative intéressante au tramway, pour un investissement moindre.

### **2.3.5 Modes de transports alternatifs**

D'autres types de transports guidés en site propre peuvent être utilisés mais ils restent encore au stade expérimental ou ont des particularités (capacité, distance, ...) qui les rendent concurrents du tramway dans certaines conditions seulement. Il s'agit des monorails suspendus (SAFEGE), d'aérotains ou funiculaires adaptés au transport urbain (POMA 2000).

## CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway



L'émergence d'un grand nombre de projets de tramway semble bien confirmer que ce type de solution répond aux problèmes que se posent de nombreuses agglomérations, à un coût moins prohibitif et avec une plus grande souplesse de programmation que des solutions plus lourdes. Une méthodologie lors des études permet de déterminer si ce type de transport est adapté aux besoins du réseau.

Chantal BARBERIEUX, propose une méthodologie<sup>6</sup> associée aux études de faisabilité d'un axe lourd de transport en commun qui constitue un cadre de base pour la réflexion et le choix du mode de transport.

Cette approche fait intervenir des éléments aléatoires et prévisionnels. L'absence ou la mauvaise qualité de données, et l'introduction de données sociologiques et environnementales, difficiles à quantifier et à extrapoler, rendent la démarche plus difficile. Le cadre méthodologique varie dans le temps et peut s'adapter à l'émergence de nouvelles préoccupations (notamment : l'environnement, la sécurité, le confort) qui peuvent devenir décisives dans le choix final.

Néanmoins, cette démarche permet de lister les éléments à prendre en compte pour une évaluation globale.

Le cadre méthodologique est basé, d'une façon générale, sur la comparaison de deux (ou plusieurs) scénarii :

- l'un, sans axe lourd, avec un minimum d'amélioration du système actuel servant de référence,
- l'autre, avec un axe lourd, le tramway, avec éventuellement des solutions intermédiaires pour mettre en évidence les avantages et les inconvénients des solutions intégrant une nouvelle technologie.

L'analyse se fait à un horizon de 10 à 20 ans. L'axe lourd, métro léger, a des effets structurants dont les conséquences n'ont de mesures qu'à long terme.

Les études d'opportunité d'un axe lourd ou d'un transport en commun, en site protégé, de type métro léger font intervenir trois phases :

1. L'opportunité d'un axe lourd dans une agglomération : Critères urbanistiques et économiques, Diagnostic de la situation et prévisions, Choix de la technologie.
2. La faisabilité du projet : Bilan économique et financier, Problèmes institutionnels, Intégration de l'axe lourd dans le système global.
3. Les impacts du projet : Impacts économiques et urbains, Transfert de technologie.

---

<sup>6</sup> BARBERIEUX Chantal, Les atouts des métros légers dans une politique de développement des transports collectifs, 1989

# CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway



## 3.1.L'opportunité d'un axe lourd dans une agglomération

Un certain nombre d'éléments permettent, à partir de considérations générales, de juger de l'opportunité d'un axe lourd, dans une agglomération, qu'il faudra conforter par la suite. Il s'agit, en particulier, de critères portant sur :

### 3.1.1. Les caractéristiques urbanistiques

La répartition globale de l'espace urbain s'effectue entre les différentes fonctions de la ville : habitat, emploi, équipements, services. Dans une dynamique de croissance urbaine, les fonctions engendrent des volumes de déplacements, chaque fois plus importants, qui sont concentrés dans le temps en période d'heures de pointe du matin et du soir et qui exigent, pour le système de transport, des espaces supplémentaires à prendre en compte dans les prévisions de trafic pour dimensionner le système.

Ces caractéristiques d'urbanisme sont :

- Morphologie urbaine, forme unipolaire (cas le plus général favorable au TCSP) ou multipolaire (moins favorable au TCSP).
- Topographie : plate ou accidentée, présence de barrières naturelles.
- Structure urbaine : existence ou non d'un centre historique.
- Développement linéaire ou concentrique de l'agglomération.
- Population de l'agglomération et évolution de la ville.
- Linéaire du réseau.
- Densité – La densité de la ville reflète en général la présence de trafics importants concentrés sur quelques corridors. Une densité faible, au contraire, correspond à des pôles urbains diffus et éloignés les uns des autres.

Les cas existants de métro léger font apparaître des situations extrêmement différentes suivant la configuration de la ville.

La fonction que joue l'axe du métro léger dans l'agglomération est également différenciée selon le cas et selon qu'il constitue l'épine dorsale du système de transport ou qu'il intervient en complément ou en prolongement d'un système de métro lourd. Le métro léger assure :

- *la desserte des couloirs à fort trafic*, en particulier au centre de l'agglomération où sont rassemblés de nombreux emplois, commerces et services.
- *le recentrage des agglomérations* après la périurbanisation galopante des dernières décennies : ce rôle est joué par les axes lourds dans certaines agglomérations de Grande-Bretagne et des Etats-Unis, où l'habitat, diffus et sans centre urbain fort, nécessite une structuration permettant de donner une identité à l'agglomération (Newcastle, Cleveland). L'axe lourd participe à une politique de reconquête urbaine.

## **CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway**



- *la promotion des centres-villes* : il s'agit du repositionnement de celui-ci face à la concurrence périphérique. Le métro léger permet l'accessibilité du centre et son insertion permet de rénover l'espace public en le requalifiant.
- *les interventions lourdes* dans les quartiers à forte concentration de logements ou équipements publics, tels que l'hôpital, l'université. Le métro léger peut participer à leur désenclavement.

### **3.1.2. Les contraintes d'insertion**

Dans chaque agglomération, on rencontre des problèmes d'insertion. En général, il s'agit de problèmes ponctuels et solubles qui relèvent de plans de circulation (mise en sens unique, ...) ou d'aménagements (acquisition foncière, ouvrages d'art ...). On peut dans le cas de centres anciens dans lesquels la voirie est étroite, utiliser la voie unique pour certaines lignes. Dans certains cas, la configuration exige des solutions souterraines ou en viaduc toujours onéreuses.

### **3.1.3. Le diagnostic et les prévisions pour le repérage des corridors**

La deuxième étape de l'étude consiste à rechercher les corridors possibles pour l'implantation du futur axe lourd et à les comparer pour définir un réseau prioritaire. La récupération de plates-formes ferroviaires qui permettent d'accéder au centre des villes sans de gros investissements de mise en souterrain, devra être recherchée chaque fois que c'est possible : de nombreux réseaux américains et allemands ont adopté ce moyen pour avoir une plate-forme en site propre intégral à peu de frais.

Le choix des corridors qui supportent les trafics les plus forts, fait également intervenir d'autres facteurs comme la qualité de la desserte, les possibilités d'insertion, les gains d'accessibilité, les critères urbains de développement de l'agglomération.

Les enquêtes sont nécessaires pour déterminer la demande exprimée sur le réseau : enquêtes autour des stations, sur le réseau et comptage dans les zones d'influence de 400 à 700 mètres autour de l'axe.

Ces axes dépendent de quelques données essentielles. Il s'agit de desservir les lieux où vit le maximum d'habitants, les quartiers les plus denses. Le tracé doit connecter les générateurs de trafics (facultés, établissements scolaires, lieux publics, entreprises ...).

## **CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway**



Tous ces pôles générateurs de trafic doivent être situés dans la zone dite de « chalandise », c'est-à-dire dans un espace de 400 m de part et d'autre de l'axe lourd.

Le centre-ville doit être desservi par ce moyen de transport de grande capacité pour le dynamiser et réduire d'autant les automobiles qui congestionnent les voies de circulation et nécessitent des surfaces de stationnement importantes.

### **3.1.4. Choix du mode de transport et son dimensionnement**

L'intensité du flux à l'heure de pointe constitue l'un des principaux critères de choix entre les différents systèmes de transport. Ce critère est différent si le réseau de transport étudié se trouve dans un pays industrialisé ou dans un pays en développement.

En effet, en France, par exemple, le choix du métro léger ou du tramway se fait à partir de flux de trafic situés entre 1 500 et 3 000 passagers/heure/sens, tandis que dans les PED, le choix du métro léger se fait pour des flux de trafic situés entre 10 000 et 30 000 passagers/heure/sens (le réseau de Manille est dimensionné pour une capacité de 45 000 passagers/heure/sens).

## **3.2. La faisabilité du projet**

### **3.2.1. Le bilan économique et financier**

Voir annexe VII

Un bilan économique et financier du projet est fait en distinguant le coût d'investissement et les dépenses d'exploitation selon le type de technologie retenue et son mode d'exploitation (type d'infrastructure, vitesse commerciale, capacité). Ce bilan est à comparer à la situation future du réseau sans grandes modifications.

Cependant, pour certains projets lourds de transports en commun, l'évaluation financière ne constitue qu'un des éléments du choix entre projets alternatifs. L'évaluation socio-économique a été développée par les anglo-saxons en prenant en compte certains éléments (gain de temps, sécurité) sur des bases comparables à celles de l'évaluation financière, en valorisant ces données (coûts - bénéfices). Ainsi, l'évaluation a été élargie à certains éléments non directement financiers. Aujourd'hui, il existe des analyses multicritères pouvant apporter un éclairage sur la rentabilité du projet pour la collectivité.



## **CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway**



### **3.2.2. Les problèmes institutionnels**

La mise en place d'un axe lourd n'est pas viable à terme dans des conditions de concurrence entre modes.

L'étude d'un métro léger fait intervenir des décisions en terme d'aménagement de l'espace urbain existant et à venir, de planification urbaine. Cette étude prend en compte des aspects à caractère institutionnel, organisationnel ou réglementaire, voire des aspects touchant à la politique nationale (financement, politique industrielle). Le cheminement de ces études suppose l'intervention et l'implication des différentes instances de décisions concernées, sous peine de remises en cause ultérieures.

### **3.2.3. La restructuration et l'intégration du système de transport**

La restructuration du réseau routier et l'intégration de l'axe lourd sont les éléments principaux de l'organisation du système global des transports. La restructuration du réseau routier, liée à la réalisation d'un axe lourd, a pour objectif d'améliorer le service global de transport et de dégager des économies sur le réseau d'autobus.

Par exemple, la mise en exploitation de la ligne sud du métro de Tunis s'est accompagnée d'une réorganisation du réseau d'autobus dans le secteur sud, ce qui a permis d'améliorer le maillage des lignes et de renforcer la desserte des quartiers situés en dehors de la zone d'influence du métro. Les véhicules libérés par la suppression des lignes concurrentes ont été réaffectés en zones périphériques.

### **3.2.4. Délais d'exécution**

Un projet de tramway peut être réalisé dans les 3 à 5 ans qui suivent la prise de décision. Cette durée ne tient pas compte des aléas politiques, économiques ou techniques et beaucoup de réseaux ont été plus longs à mettre en service. Il faut cependant limiter l'étendue des travaux pour plusieurs raisons :



La première est d'ordre financier. Le coût total d'une réalisation, s'étalant sur plusieurs années, inclut des intérêts intercalaires. Des ouvrages terminés et non utilisés induisent des charges de remboursement d'emprunts dès leur achèvement. Il s'ensuit un renchérissement du coût réel de l'ouvrage à sa mise en exploitation. A ce surcoût s'ajoute celui de l'ingénierie qui constitue une charge sensiblement fixe par unité de temps et qui pèse d'autant plus lourdement que la réalisation s'étale dans le temps.

## **CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway**



La deuxième raison est d'ordre politique. Les réalisations susceptibles d'entraîner des modifications importantes dans la vie d'une ville, en s'inscrivant dans le paysage urbain, sont exposées à controverses. Toute décision les concernant peut être remise en cause. La meilleure façon d'éviter les remises en cause et les actions retardatrices consiste à imprimer à une réalisation un rythme suffisant pour les empêcher de se développer, tout en satisfaisant aux différentes obligations administratives et d'informations du public, indispensables pour une bonne assimilation du projet.

### **3.3. Points de vue des habitants**

Avant de poser des rails dans la rue, il faut convaincre les habitants et les commerçants. Construire des nouvelles lignes de tram, dans des sites, est souvent une entreprise qui se heurte à de grandes difficultés, car elle entraîne parfois la démolition d'immeubles situés sur le nouveau tracé. Il faut aussi convaincre les habitants et les commerçants locaux des avantages que leur apporte une nouvelle ligne de tramway attendu qu'ils doivent souvent subir des pertes financières durant les travaux.

A cet égard, la ville de Grenoble n'a pas hésité à organiser un train spécial à destination de Zurich. Les commerçants français purent ainsi se rendre compte que le tramway, contrairement au métro, circule en surface, ce qui permet aux passagers de voir leurs vitrines. A Strasbourg, la construction de nouvelles lignes de tramway a été combinée avec la transformation de rues et de places très fréquentées. Les anciens adversaires du tramway optaient pour la construction d'un métro, sont maintenant très satisfaits de la solution choisie.

### **3.4. Les impacts du projet d'axe lourd**

Investir dans un projet de tramway est un moyen de résoudre les problèmes de transport urbains mais c'est aussi faire le choix d'un aménagement de la ville pour favoriser, entre autres, l'économie industrielle en développant de nouvelles technologies.

#### **3.4.1. Les impacts urbains**

Les impacts économiques et urbains ont pu être évalués à la suite de nombreuses mises en service de réseaux de tramway en France. Les évaluations ont été plus approfondies pour Nantes et Grenoble, les premières agglomérations à redévelopper un réseau de tramway.

## **CHAPITRE 3 : Le choix d'une solution tramway**



Certains de ces impacts ont pu être évalués par des enquêtes avant et après projet. Dans ces deux cas (Nantes et Grenoble), le trafic réalisé a été nettement supérieur aux prévisions ; l'effet vitrine du tramway a joué à plein, entraînant un trafic induit sensible.

Les effets sur le développement urbain sont plus difficiles à mesurer : une ville se transforme en permanence et il est assez difficile de distinguer, parmi les raisons qui déterminent l'implantation d'un immeuble d'habitation ou de bureaux, l'influence d'une infrastructure comme le tramway. De plus, les évolutions dans ce domaine sont lentes.

On a pu constater cependant certains effets, en particulier, une stabilité résidentielle des locataires de logements situés à proximité du tramway. Le phénomène indique une valorisation des appartements situés dans cette zone. Par ailleurs, on a construit beaucoup le long de la ligne et les commerces ont été rénovés. Enfin, la réalisation de la ligne de tramway a donné lieu à un remodelage de la voirie et des espaces publics.

### **3.4.2. Les impacts économiques**

La renaissance du tramway est aussi un défi intéressant du point de vue de l'économie et de la technique. L'industrie des métaux, de l'électricité et le génie civil sont appelés à faire preuve de capacités novatrices.

Dans les pays industrialisés, un projet de tramway peut dynamiser l'industrie nationale des transports et plus localement l'économie de la construction. Par contre, dans un pays en développement, un projet de tramway léger apporte plus facilement à l'industrie locale, une maîtrise de la technologie.

# **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



Dans l'optique de mieux cerner les différentes étapes de la procédure d'un projet d'infrastructures et leur enchaînement les uns par rapport aux autres, il est suggéré de s'appuyer sur le synoptique de l'**annexe VIII** du mémoire.

## **4.1. Projet d'infrastructures – Phase conception**

### **4.1.1. L'allotissement du projet**

Il faut bien distinguer l'allotissement financier du phasage travaux :

- L'allotissement du projet est le découpage, en fonction des maîtres d'œuvre intervenant dans le projet (corps d'état).

L'allotissement est lié au mode d'achats (corps d'état séparés ou TCE) mais aussi à la répartition des tâches entre les municipalités, le ou les conseil(s) général(aux), la RATP.

- Le phasage, c'est le « comment » les travaux vont être réalisés.

En conclusion, l'allotissement est proposé par le maître d'œuvre et retenu avec la maîtrise d'ouvrage et les acheteurs (leur rôle est important dans la mesure où il relate le choix politique de la RATP). Selon les tendances du marché, on favorise un découpage en plusieurs lots ou bien on retient une entreprise générale, notamment si les délais sont très courts. L'allotissement requiert, au départ, des lots techniques qui peuvent devenir géographiques, pour une meilleure exécution par exemple.

### **4.1.2. Découpage, phasage & planification**

#### **4.1.2.1. Découpage du projet**

Le découpage technique du projet est fonction du type de transport qui doit être réalisé. Dans le cas du tramway, un phasage, plus qu'un découpage, est étudié pour limiter, autant que faire se peut, les désagréments environnementaux (circulation automobile, circulation piétons, commerces, centres commerciaux, culturels, écoles, ...) et toujours en liaison avec les mairies, conseils généraux, ... .

C'est en phase APD que le phasage de réalisation du projet est mis au point.

## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



### **4.1.2.2. Construction par tronçons ou en une seule fois**

Un projet de transport peut être étudié dans sa globalité mais, en raison de contraintes budgétaires (Etat, Conseils généraux, Mairies), le projet est réalisé en plusieurs étapes.

En phase réalisation, le nombre de zones d'attaque du chantier est déterminé principalement par les difficultés d'insertion des travaux sur le site. C'est étudié en phase APD voir APS et en liaison avec les mairies, conseil généraux, ... . Cela peut également être lié à une date de mise en service programmée, ...

Les travaux se déroulent sur plusieurs fronts d'attaque selon un phasage travaux préparé en phase Projet par le chef de projet, l'OPC et la maîtrise d'œuvre en liaison les services de voirie des villes concernées.

Nota Bene : Le chef de projet remplace le coordinateur technique quand il n'existe pas. L'OPC, en tant que tel, n'intervient pas dans le phasage de l'opération contrairement au coordinateur technique. L'OPC ne fait que reporter et consolider les éléments.

### **4.1.2.3. Programmation des stations par rapport aux interstations**

Les stations sont programmées en fonction des pôles d'intérêts locaux et des flux migratoires journaliers d'habitants dans la zone concernée.

Les stations sont parties intégrantes du planning en phase travaux. Le génie civil des quais est réalisé en même temps que la plate-forme. Les équipements qui viennent sur les stations, sont réalisés, à l'avancement, selon les fronts d'attaque élaborés dans le phasage des travaux.

### **4.1.2.4. Planning chemin de fer**

Ce type de représentation est utilisé dans le cas des chantiers en construction en ligne, en complément du Gantt dont il remédie à l'imprécision des cadences, et de localisation des activités. L'inclinaison des lignes obliques indique une certaine vitesse d'exécution ou cadence de l'activité.

L'activité est représentée dans ce type de planning par une droite oblique sur une échelle de temps et de lieu. Le temps figure sur l'axe horizontal et le lieu du travail sur l'axe vertical. Cette droite oblique est délimitée par deux horizontales, l'une correspondant au début de l'activité en un endroit déterminé, l'autre à la fin de l'activité au même endroit.

## CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.



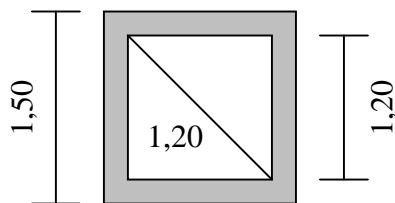
### Voir annexe IX

Le planning chemin de fer est une bonne justification concernant la faisabilité.

L'objectif de ce type de planning est de réaliser les plates-formes, les voies et la multitubulaire sur des linéaires suffisamment étendus, d'avoir des continuités de voies posées de façon à permettre des tirs de lignes aériennes de contact (LAC) au plus tôt, le reste devant se greffer autour c'est-à-dire avant ou après, en fonction du type de travaux.

La multitubulaire est souvent plus contraignante que la plate-forme de voie de part ses dimensions (en moyenne 1,20 x 1,20 pour permettre le passage de 20 à 40 Ø de 80).

### Implantation des trappes d'accès de la multitubulaire



Contrainte en sous-sol, avec une voie sur ballast, de l'ordre d'un mètre.

L'autre contrainte est celle des poteaux caténaires vis-à-vis :

- de la taille des fondations par rapport aux réseaux enterrés,
- de leurs positions au niveau des carrefours et sous les trottoirs en fonction des flux.

La représentation des interventions se fait par zone unitaire de travaux. Ces zones unitaires constituent des sous-ensembles des séquences de phasage homogènes recensées, elles-mêmes issues du découpage géographique lié à l'allotissement pressenti.

Les cadences sont estimées par zone unitaire en fonction de la séquence de phasage s'y appliquant.



## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



### **4.2. Projet d'infrastructures – Phase réalisation**

Les travaux se déroulent en quatre grandes étapes.

#### **Première phase : Travaux préparatoires**

Ils consistent d'abord à dévier les réseaux (eaux, gaz, électricité, téléphone, assainissement, CPCU dans le cas de la ville de Paris) afin de rester accessibles une fois le tramway construit.

##### **- Déviation des réseaux d'eaux pluviales et usées**

La plupart du temps, ces réseaux sont situés en milieu de chaussée. L'arrivée du tramway est donc l'occasion de les rénover pour les adapter à l'évolution. Pour la plupart, ces réseaux sont complètement reconstruits, soit parce qu'ils ne sont pas suffisamment enfouis pour permettre la réalisation de la plate-forme, soit parce qu'ils ne sont plus adaptés aux besoins. Dans les autres cas, on les consolide pour leur permettre de supporter le poids de la plate-forme et du passage du tramway.

##### **- Déviation des réseaux d'eau, de gaz, d'électricité et de télécommunications**

Les travaux sur les réseaux des concessionnaires interviennent ensuite. Les réseaux sont déplacés et positionnés en dehors de l'emprise de la plate-forme, sous les trottoirs pour permettre toute intervention future. La complexité de ces travaux est due au nombre d'intervenants, à l'importance et à la spécificité des travaux (Technique d'intervention propre à chacun, maintien des réseaux existants en activité pendant la réalisation du réseau neuf, essais des réseaux neufs avant la mise en service, ...).

Nota bene : Ce sont deux phases souvent mal perçues et source de mécontentements, elles sont pourtant indispensables et bénéfiques pour l'avenir et le quotidien des habitants, riverains, commerçants, ... .

D'autres travaux peuvent également concerner la réalisation d'ouvrages d'art (viaducs, passages souterrains, ...) et le déplacement d'équipements ou de mobilier urbain.

## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



### **Deuxième phase : Aménagements de voiries**

Ils permettent, de façade à façade, de redistribuer l'espace entre trottoirs, pistes cyclables, stationnements, voies de circulation automobile, plate-forme du tramway.

Ils comprennent, également, l'aménagement d'espaces verts, l'éclairage public et la construction des pôles d'échanges entre les différents moyens de transport.

### **Troisième phase : Construction de la plate-forme**

La construction de la plate-forme comprend le terrassement, les fondations, la mise en place de la structure de béton constituant la plate-forme, puis la pose des rails.

Le revêtement final complète l'insertion urbaine : gazon, dallage, pavés, ...

#### **Pose des rails (cas courant)**



**1<sup>ère</sup> étape :** La chaussée est creusée sur, environ, une largeur de 6 m et une profondeur de 90 cm, à l'emplacement de la future plate-forme.

**2<sup>ème</sup> étape :** Un béton est coulé sur environ 20-30 cm d'épaisseur.

**3<sup>ème</sup> étape :** Des traverses, servant à positionner et fixer les rails, sont installées. Les rails sont ensuite posés et soudés.

**4<sup>ème</sup> étape :** Une nouvelle couche de béton est coulée pour maintenir les traverses. Elle s'arrête à 15-20 cm de la surface afin de laisser un espace libre pour le revêtement final de la plate-forme (béton, pavés, gazon, ...).

# CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.



## Quatrième phase : Aménagements urbains

Ces travaux comprennent le réaménagement des trottoirs, des voies de circulation, des aires de stationnement, la pose du mobilier urbain et enfin la plantation des arbres.

Simultanément, les LAC – Lignes Aériennes de Contact – qui fournissent l'électricité alimentant le tramway, sont installées, soit sur des poteaux-supports (ou des candélabres), soit directement sur les façades des immeubles riverains.

### 4.3. Projet d'infrastructures – Place et rôle de la maîtrise d'œuvre

#### 4.3.1. Etudes en amont, Etudes préalables et Schéma de principe

A ce stade, la maîtrise d'œuvre RATP est consultée à titre d'expert pour la faisabilité (par exemple : pour le génie civil, la caténaire, la haute tension, ...) mais n'intervient pas dans les décisions liées à l'insertion du mode de transport sur le site (nombre et position des stations, trajet emprunté, ...).

Il faut noter que la maîtrise d'œuvre dont on parle, n'est pas celle qui travaillera sur le projet. Sa désignation n'intervient que plus tard.

A cette étape, a lieu la concertation entre l'Etat, les communes, les élus et la RATP.

#### 4.3.2. Phase AVP

**Définition :** L'AVP (AVant Projet) comprend pour le bâti l'APS (Avant Projet Sommaire) et l'APD (Avant Projet Détaillé) comme, par exemple, pour les sites de maintenance à construire pour le tramway. Pour le seul système de transport (ligne et stations) on parlera d'AVP.

Le maître d'œuvre est nommé pour démarrer la phase AVP. Lors de cette phase, le maître d'œuvre étudie la conception générale du projet et établit les estimations qui permettront de déterminer les enveloppes financières à partir du programme remis par le maître d'ouvrage.

On peut revenir sur le choix du système transport retenu lors de la phase AVP. C'est à ce moment-là du projet que le maître d'ouvrage va vraiment se rendre compte des premières difficultés d'études et du coût réel de l'opération.

S'il y a lieu, le maître d'ouvrage peut demander au maître d'œuvre un dossier d'études et d'estimations pour comparer différents systèmes de transport (exemple : tram pneu ou fer, ...).

Une fois, le système de transport adopté, le maître d'œuvre n'est plus interrogé.

En phase APS et APD, lorsqu'une impossibilité technique apparaît ou lorsque le coût de réalisation devient prohibitif, à ce moment-là, de nouvelles études d'insertion sont proposées par le chef de projet aux Mairies, Elus, Conseil(s) Général(aux), Architectes, ...

## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



En APS, deux types de programme sont mis au point :

- un programme ferroviaire : il concerne la partie « transport », i.e. précise les contraintes d'insertion du mode de transport sur un site (signalisation, contraintes d'insertion sur le site avec les carrefours par exemple, localisation des sources d'énergie, ...).
- un programme d'exploitation voyageurs : il concerne la définition des stations proprement dite. Mais le dimensionnement d'une station est déterminé par le flux prévu de voyageurs (et là c'est l'étape précédente).

Au programme d'exploitation élaborée par la maîtrise d'œuvre (y compris les contraintes émises par les mairies, élus, conseil général, ...), on peut rajouter un programme architectural qui est établi par un architecte DPLG (soit de la RATP, soit externe à la RATP – commune, conseil général, ... –).

En APD :

- l'ensemble des déviations de concessionnaires est étudié dans le détail. Cela permet de valider les solutions techniques retenues.
- L'étude d'insertion est réalisée en fonction des contraintes de sols (avec les déviations de concessionnaires retenues, type de sol, ...) et environnementales (en fonction des choix des mairies, de la DDE, des élus locaux, de l'architecte responsable du projet, ...).

### **4.3.3. Phase PRO**

A cette phase, le maître d'œuvre est chargé des études détaillées, de l'affinement des estimations faites en phase AVP en vue du lancement des appels d'offres aux entreprises faits en phase ACT (Assistance à la Consultation des entreprises).

Généralement, cette étape est en recouvrement avec la phase d'élaboration du DCE – Dossier de Consultation des Entreprises – correspondant à la phase d'appel d'offre. La maîtrise d'œuvre écrit l'ensemble des documents constitutifs du marché :

- CCTP – Cahier des Clauses Techniques Particulières –
- DPFG – Décomposition du Prix Forfaitaire et Global –
- Plans
- CCPR – Cahier des Clauses Particulières de Réalisation –
- SOGED – Schéma d'Organisation et de Gestion des déchets –
- Programme (dans le sens de planning) de travaux mentionnant les délais partiels et éventuellement les jalons externes à la maîtrise d'œuvre

Le PGC – Plan Général de Coordination –, pièce également constitutive du marché, est établi par le chef de projet par l'intermédiaire du CSPS – Coordinateur Sécurité et Protection de la Santé –.

Le projet de marché, quant à lui, est établi par l'acheteur.

## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



Sur certains projets, le maître d'œuvre s'occupe uniquement des phases conception (AVP et PRO) notamment pour les maîtres d'ouvrages tels que les Conseils Généraux ou autres collectivités territoriales, car, suite aux rattachements des DDE (Directions Départementales de l'Équipement) aux CG (Conseils Généraux), ils ont à disposition des équipes travaux qui suivent l'exécution.

### **4.3.4. Phase REALISATION**

Si le maître d'œuvre a cette phase pour mission, il suit l'exécution des travaux et vise notamment les plans d'exécution (plans à faire et à remettre par les entreprises).

Il ne faut pas oublier que le maître d'œuvre est responsable des durées de travaux, du planning, du suivi technique et de la réalisation.

### **4.4. Projet d'infrastructures – Comparatif avec un autre type d'infrastructure linéaire**

	<b>TRAMWAY SUR RAIL</b>	<b>BUS PARISIENS EN SITE PROPRE</b>
<b>EXPROPRIATION POUR CAUSE D'UTILITE PUBLIQUE</b>	La déclaration d'Utilité Publique est un décret du Premier Ministre pris par le Conseil d'Etat.	Un arrêté du Préfet suffit.
<b>INTERSTATION</b>	400-600 m	400 m
<b>STATION</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kiosques + Armoires techniques</li><li>- Abris</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Abris avec informations voyageurs</li></ul>
<b>MATERIEL ROULANT</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ex : Translohr ferré</li><li>- Offre de transport</li><li>- Coût de maintenance</li><li>- Bruit, pollution, consommation</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Ex : Renault, Mercedes, ...</li></ul>

## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



<b>EQUIPEMENTS</b>		Fonctionnel du mode T <ul style="list-style-type: none"> <li>- Information Voyageur (filaire avec maintenabilité à distance)</li> <li>- Vente de tickets</li> <li>- Sonorisation</li> <li>- Vidéo</li> <li>- Téléphone en station</li> </ul>	- Information Voyageur « hertzien »
<b>ACCESSIBILITE POUR LES PERSONNES A BESOINS SPECIFIQUES (PBS)</b>			N'offre pas le meilleur niveau (circule à la fois en site propre mais aussi en banalisé => hauteur « configuration quai » variable dans la ville)
<b>CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES</b>	<b>Rayons de courbure</b>	20 m	10 m
	<b>Largeur utile système section courante alignement droit</b>	environ 6,00 m (plate-forme)	environ 7,50 m (pistes)
	<b>Longueur des quais</b>	30-60 m	2,5-3 m
	<b>Largeur courante</b>	2,5 à 3 m (latéral) 4 à 5 m (central)	
<b>RAYON D'ATTRACTIVITE</b>		400-500 m	400 m



## **CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.**



<b>PERFORMANCES INDICATIVES</b>	<b>Gabarit du matériel roulant</b>	2,30 m	2,50 m
	<b>Capacité horaire par sens</b>	2000-3500 voyageurs (1 élément) 3000-7000 voyageurs (2 éléments)	500-2000 voyageurs
	<b>Vitesse commerciale</b>	25-30 km/h (Site protégé intégral) 17-20 km/h (Site réservé)	15-22 km/h (Site réservé) 8-18 km/h (Site banalisé)
	<b>Intervalle minimum (heure de pointe)</b>	3 minutes	¾ minutes Aléatoire en heure de pointe
<b>TRAITEMENT DE CHAUSSEE</b>		NON	OUI - Contrainte d'orniérage - Contrainte de glissance - Marquage physique entre la circulation VL et le site propre.
<b>FIABILITE, FLEXIBILITE D'EXPLOITATION</b>		- Bloque la voie en cas d'accident ou de panne. - S'arrête s'il y a des travaux sur la voie. - Une rupture caténaire bloque toutes les rames.	- En cas d'accident, les véhicules peuvent doubler. - Peut emprunter des voies adjacentes en cas de travaux. - Une panne moteur ne concerne qu'un véhicule.
<b>CONFORT DES VEHICULES</b>		- Subit des cahots et des vibrations plus importants. - Bruit dû au contact roue-rail.	Suspension des véhicules (pneus + uni des chaussées en sont un élément fondamental).

## CHAPITRE 4 : Gestion de la construction de lignes de tramway – Cas de la Régie Autonome des Transports Parisiens.



<p><b>TRAVAUX</b></p>	<p>Travaux plus lourds que pour le bus en site propre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux préparatoires + Concessionnaires</li> <li>- Construction de la plateforme (gros travaux) y compris la multitubulaire et ses impacts sur les concessionnaires</li> <li>- Aménagements de voirie</li> <li>- Aménagement urbain + Mise en place des équipements</li> <li>- Caténaires → Impact sur les concessionnaires</li> <li>- Place complémentaire pour poste de redressement, site de maintenance</li> <li>- Implantation des armoires « traction » (sur une ligne, la caténaire est gérée en tronçon – chaque tronçon peut être mis hors tension en cas de problème), des armoires de gestion de l'alimentation de la LAC, des armoires « signalisation » (pour gérer les croisement aux carrefours)</li> </ul>	<p>Minimum de travaux à réaliser dans la mesure où il s'adapte à l'environnement.</p>
<p><b>MAINTENANCE</b></p>	<p>Travaux de nuit pour le changement des rails</p>	<p>Plus d'impact dans la rénovation de l'infrastructure (rabotage, enrobé) que le tramway.</p>

# CONCLUSION



Après un important déclin dans les années 50, les systèmes de tramway ou métro léger ont retrouvé un certain dynamisme se traduisant par la création de nouveaux réseaux, l'amélioration de réseaux existants et l'amélioration du matériel.

La raison principale de ce dynamisme est que le tramway présente un certain nombre d'intérêts pour répondre aux problèmes constatés dans les agglomérations.

Son coût d'investissement est élevé mais il reste abordable pour une ville moyenne. Un kilomètre de tramway représente en général un tiers de l'investissement nécessaire à la réalisation d'un kilomètre d'une ligne de métro car il n'y a pas à creuser (il faut seulement refaire la voirie et les réseaux).

Les systèmes aériens comme le monorail et les métros légers (Skytrain et VAL) obligent la création d'ouvrages spécifiques et importants tels que des viaducs.

Sa vitesse commerciale est plus élevée que celle du bus car sa plate-forme est conçue essentiellement en site propre et il a priorité sur les autres véhicules aux carrefours. Cette vitesse le rend attractif et permet d'envisager une nouvelle organisation des déplacements en agglomération. La circulation automobile dans le centre des villes n'est plus encouragée et des parkings-relais, en connexion avec les lignes de tramway, sont répartis en périphérie afin de capter les flux automobiles se dirigeant vers la ville. Néanmoins, le tramway a les mêmes inconvénients que le bus et le métro en matière d'amplitude horaire (sa circulation s'arrête la plupart du temps entre minuit et l'aube).

Les travaux de mise en place de l'infrastructure nécessaire au tramway permettent de repenser l'aménagement des espaces publics et sa distribution, en donnant une priorité à un paysage urbain pacifié (traitement paysager, piétonisation des espaces stratégiques au cœur de la ville ou de quartiers, ...). La construction d'un réseau de tramway est souvent couplée à l'extension des secteurs piétonniers. Ses effets, sur l'environnement et les économies d'énergie, sont non négligeables face à un réseau de bus équivalent.

Le tramway permet de reconnecter des quartiers périphériques longtemps marginalisés par rapport au centre des villes.

Accessoirement, le tramway comme le bus permettent aux usagers de rester en contact avec la lumière naturelle, de pouvoir bénéficier des aménagements architecturaux de la ville, de voir les vitrines des commerçants et éventuellement de pouvoir utiliser leur téléphone portable.

# CONCLUSION



L'occupation de l'espace urbain du tramway, au même titre que les autres véhicules, nécessite une nouvelle gestion des flux. Mais, il s'agit d'une contrainte positive dans le cadre d'une politique de réduction de l'espace disponible à la circulation automobile. Le métro léger ou tramway suppose une prise de décisions complexe. Le tramway nécessite un partage de la voirie, souvent difficile à arbitrer, qui se heurte aux intérêts des autres utilisateurs : voitures individuelles et transporteurs routiers qui constituent des acteurs économiques importants à prendre en compte dans la mise en place de l'axe lourd.

D'un point de vue technique, la place du tramway n'est pas celle de l'autobus ou du métro. Il s'agit bien d'un véhicule intermédiaire, destiné à assurer la desserte de lignes ne pouvant être assurées ni par l'autobus, le trolleybus (même en site propre), ni par le métro léger automatique (du type VAL).

Les enjeux d'un projet de tramway touchent à l'urbanisme, au développement économique, à l'environnement, à la politique de la ville.

Le regain d'intérêts pour le tramway et les innovations technologiques qui l'ont accompagné, ont également incité le développement d'autres moyens de transport comme le bus guidé. Ces types de transport sont très coûteux et surdimensionnés pour la fréquentation. Mais, il est intéressant de proposer des moyens adaptés qui possèdent des avantages comparables au tramway pour un investissement moindre.

De plus, ces moyens à capacité de transport plus faibles peuvent être utilisés pour des lignes de bus en correspondance avec une ligne de tramway existante.

Ces modes de transport sont appelés à se développer dans les années à venir. De nouvelles solutions techniques vont naître pour continuer à améliorer ces transports en commun.

On constate que de nombreuses villes ont réintroduit un tramway et développent une ou plusieurs lignes supplémentaires, sans forcément conserver le même type de matériel. Il serait intéressant de connaître les raisons de ces choix : est-ce une question de coûts, de fiabilité de matériel ou d'adaptation aux contraintes des nouvelles lignes ?



## Livres :



Les nouveaux tramways, Jean ORSELLI, Paradigme publications universitaires, 2004



Le retour du tramway d'Orléans, Daniel DUCOIN, Gérard DESCAVES et Yves LE CHANU, Editions COMMUNICATION-PRESSE-EDITION, 2003



Insertion urbaine de tramways en France, François LAISNEY et Anne GRILLET-AUBERT, Collection INSERTION URBAINE, Département DEVELOPPEMENT ET ACTIONS TERRITORIALE, juin 2004



Tramway, le coût d'une mode, Michel CARMONA, Paradigme



Plaquette Translohr, Tramway sur pneus, LOHR DDOCC, juin 2004



Les grands groupes français de transport de voyageurs, ALLAIN Jean-Pierre, CERTU, Lyon, 1999



Les atouts des métros Légers dans une politique de développement des transports collectifs, BARBERIEUX Chantal, CETUR, 1989



Les transports urbains guidés de surface, Francis KHUN, INRETS, 1987



Le tramway moderne ou le métro automatique, Francis KHUN, INRETS, 2003

## Revues :



Activités sur les carrefours à feux et régulation du trafic en milieu urbain, CERTU, 29 décembre 2002



Déplacements et commerces, Evaluation de l'évolution des impacts du tramway de Lyon sur le commerce, CERTU



ADEUS, Impacts d'un transport en commun en site propre de surface sur le commerce, Le cas de l'agglomération strasbourgeoise, CERTU, 2004



Dossier : spécial tramways, Rail & Transports, 26 mai 2004, n°333, La vie du Rail, p. 18 à 35, Gilles DANSART, Albert LE ROUX, Cécile MANGORENI



Le tramway se libère de ses caténaires, Cécile BONNEAU, L'Usine nouvelle, 27 avril 2000



Les nouvelles voies du tramway, Corinne MENARD, L'Usine nouvelle, Hors série novembre 1998



Ville de Reims Information, novembre 2004, n°213, Ville de Reims, p. 8 à 11



Ville de Reims Information, avril 2005, n°218, Ville de Reims, p. 42 à 43



## Sites internet :



[www.certu.fr](http://www.certu.fr)



[www.ratp.com](http://www.ratp.com)



[www.tcl.fr](http://www.tcl.fr) – Transports en commun de Lyon



[www.metro-pole.net](http://www.metro-pole.net) – Transports publics de l'agglomération parisienne



[www.tcar.fr](http://www.tcar.fr) – Transports en commun de l'agglomération de Rouen



[www.transport.alstom.com](http://www.transport.alstom.com)



[www.sateba.com](http://www.sateba.com)



[www.inrets.fr](http://www.inrets.fr) – Institut National de Recherche sur les Transports et leur

sécurité



[www.apts-phileas.com](http://www.apts-phileas.com)





Figure 1 : Métro de Toulouse sur viaduc, KHUN Francis, Le tramway moderne ou le métro automatique, INRETS, avril 2003 .....	13
Figure 2 : Profil en travers d'un site séparé, Lohr, juin 2004 .....	13
Figure 3: Principe d'une ligne en voie unique, MARX Pierre, Intérêt et faisabilité du mode d'exploitation en voie unique pour des systèmes de transports en site dans les villes moyennes, METRAM, Villeurbanne, 1989 .....	23
Figure 4 : Pose de traverse, Place de la comédie à Montpellier, Sateba .....	25
Figure 5 : Représentation d'une traverse classique en béton et d'une nouvelle traverse béton-acier, Sateba .....	25
Figure 6 : Traverse avec semelle anti-vibratile avant pose du rail, Sateba .....	25
Figure 7 : Machine insérant par vibration les selles de fixation de rail dans le béton encore frais, Cegelec .....	26
Figure 8 : Vue de profil du TFS, RATP, 1998 .....	28
Figure 9 :Le TVR de Bombardier sans le rail de guidage, Tramways & Urban transit, mai 2001 .....	30
Figure 10 :Translohr en circulation, LOHR, 2004 .....	30
Figure 11 : Représentation de l'armature de fixation des roues avec les modules de guidage aux extrémités, TRANSLOHR,juin 2004 .....	31
Figure 12 : Coupe sur le rail de guidage avec représentation des galets, TRANSLOHR, juin 2004 .....	31
Figure 13 : Principe de l'alimentation développée par Ansaldo, L'Usine Nouvelle, 27 avril 2000 .....	33
Figure 14 : Principe de l'alimentation développé par Spie Enertrans, L'Usine Nouvelle, 27 avril 2000.....	34
Figure 15 : Principe de la batterie embarquée, Alstom .....	35
Figure 16 :Pupitre de commande, Tramway de Nice, Alstom .....	36
Figure 17 : Tramway de Rotterdam (2002) modèle Citadis d'Alstom, Alstom .....	38
Figure 18 : Tramway de Lyon (2001) modèle Citadis d'Alstom, TCL .....	38
Figure 19 : Tramway de Bordeaux .....	38
Figure 20 : Tramway de Valenciennes .....	38
Figure 21 : Tramway de Montpellier .....	38



**ANNEXE I :** Tableau de l'évolution des vitesses commerciales et pourcentage de linéaire en site séparé, KUHN Francis, Les transports urbains guidés de surface, INRETS, 1987.



**ANNEXE II :** Tableau récapitulatif des réseaux français de tramway.



**ANNEXE III :** Carte de France des réseaux de tramway, 2007.



**ANNEXE IV :** Caractéristiques du Tramway Standard Français.



**ANNEXE V :** Caractéristiques du tramway sur pneus, Translohr.



**ANNEXE VI :** Précisions sur les autres modes de transports guidés.



**ANNEXE VII :** Analyse économique et financière du projet de tramway de Reims Métropole.



**ANNEXE VIII :** Processus d'élaboration d'un projet d'infrastructure en région d'Ile-de-France.



**ANNEXE IX :** Planning chemin de fer, RATP.

---

---

**ANNEXE I :** Tableau de l'évolution des vitesses commerciales et pourcentage de linéaire en site séparé, KUHN Francis, Les transports urbains guidés de surface, INRETS, 1987.

---

---

<b>VILLES</b>	<b>EN 1996</b>	<b>EN 1973</b>	<b>EN 1977</b>	<b>EN 1983</b>
<b>Bruxelles</b>	14,8 km/h 38 %	17 km/h 52 %	17 km/h 40 %	17,17 km/h 45,47 %
<b>Charleroi</b>	18 km/h 38 %	20 km/h 40 %	21 km/h 50 %	
<b>Utrecht</b>			29 km/h 95 %	
<b>Hanovre</b>	18,9 km/h	20,7 km/h 38 %	20,1 km/h 53 %	22,1 km/h 68 %
<b>Cologne</b>	18,6 km/h	22,1 km/h 64 %	22,7 km/h 72 %	23,5 km/h 81,4 %
<b>Stuttgart</b>	17,3 km/h 34 %	19,45 km/h 37 %	19,51 km/h 37 %	20,2 km/h 68,33 %
<b>Zürich</b>	14,2 km/h	15,5 km/h 6 %	15 km/h 9 %	13-15 km/h 15,4 %
<b>Berne</b>	14,14 km/h	14,8 km/h 8 %	14,7 km/h 12 %	16 km/h 15,3 %
<b>Bâle</b>	16,5 km/h	16,3 km/h 29 %	17,71 km/h 40,37 %	26,1 km/h 56,5 %
<b>Nuremberg</b>	16,1-17,4 km/h	16,9 km/h 30 %	16,7 km/h 46 %	16,5 km/h 37,7 %
<b>Blackpool</b>		20,9 km/h	20,9 km/h 94,5 %	20,9 km/h 94,5 %

**Sources :** Statistiques des transports publics urbains UITP de 1968 à 1975.  
Les tramways en Suisse et en RFA par SODETRANS de 1979.

**Nota Bene :** Le premier nombre représente la vitesse commerciale moyenne du réseau en km/h.  
Le deuxième nombre est le pourcentage du linéaire en site propre et site séparé de l'ensemble du réseau.

---

---

## **ANNEXE II : Tableau récapitulatif des réseaux français de tramway.**

---

---

<b>ANNEE D'OUVERTURE DE LA PREMIERE LIGNE</b>	<b>VILLE</b>
<b>Tramways conservés</b>	
1874	Lille
1876	Marseille
1881	Saint Etienne
<b>Nouveaux tramways en service</b>	
1985	Nantes
1987	Grenoble
1992	Paris
1994	Strasbourg
	Rouen
2000	Montpellier
	Orléans
2001	Lyon
2002	Caen
2003	Bordeaux
2006	Mulhouse
	Clermont-Ferrand
	Nice
	Paris
	Valenciennes
2007	Le Mans
<b>Tramways en cours de réalisation</b>	
2009	Angers
<b>Tramways en projet</b>	
2009-2010	Toulon
2010	Reims
2012	Brest
	Le Havre
	Tours



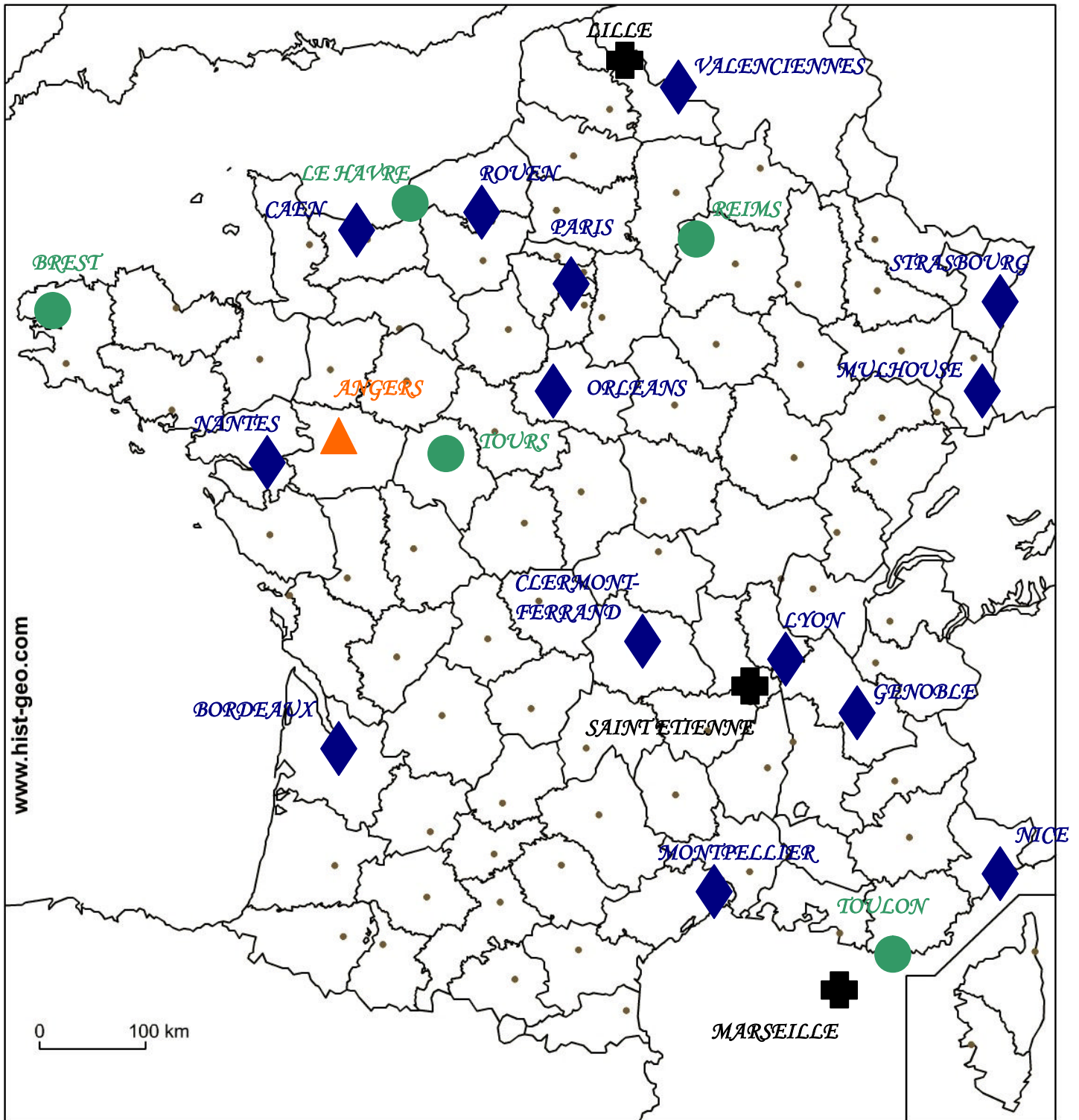
---

---





**ANNEXE III :** Carte de France des réseaux de tramway, 2007.

---

---



- Carte de France des réseaux de tramway, 2007 -

-  Tramways conservés
-  Tramways en service
-  Tramways en cours de réalisation
-  Tramways en projet

---

## **ANNEXE IV :** Caractéristiques du Tramway Standard Français.

---

Les caractéristiques principales de ce véhicule bidirectionnel à deux caisses sur trois bogies dont deux moteurs construits par le groupement Alstom, Francorail, MTE, CIMT et TCO, sont :

- Longueur hors tout	28,50 m
- Largeur de caisse	2,30 m
- Hauteur de plancher	0,85 m
- Ecartement des bogies	1,435 m
- Capacité en charge normale	168 places dont 60 assises (4 personnes debout par m <sup>2</sup> )
- En charge maximale	238 places (6,6 personnes par m <sup>2</sup> )
- Masse en charge normale	52 tonnes
- Puissance	2 x 275 kW
- Vitesse maximale	80 km/h
- Tension nominale	750 volts D.C.

Pour Grenoble, une version à plancher partiellement surbaissé sera étudié : c'est ainsi que sera créé le TFS dans sa version définitive en 1986.

- Longueur hors tout	29,40 m
- Plancher bas	0,345 m (sur 17,85 m)
- Plancher haut	0,85 m (aux extrémités)
- Capacité en charge normale	174 places dont 76 assises (22 strapontins)
- Capacité en charge maximale	252 places dont 54 assises
- Masse en charge normale	56 tonnes

La rame est composée de deux caisses en acier de 2,3 mètres de large jointes par une nacelle centrale sur laquelle se trouve implanté pantographe et un bogie porteur. Seule la partie centrale du plancher voyageur est surbaissé à 34,5 cm pour permettre un accès de plein pied avec les quais permettant ainsi l'accès des Personnes à Besoins Spécifiques et des échanges rapides de voyageurs grâce aux quatre portes latérales. Les compartiments extrêmes sont surélevés au-dessus des bogies moteurs à 87,5 cm.

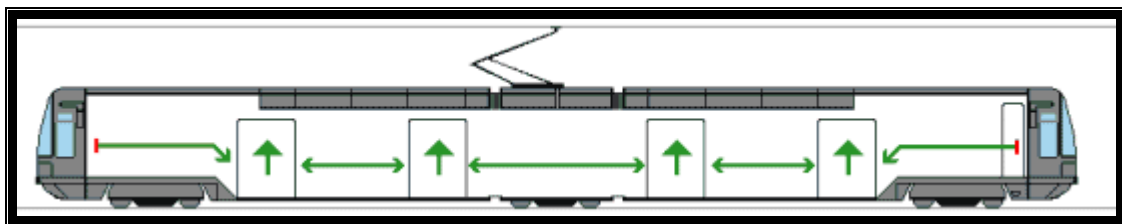
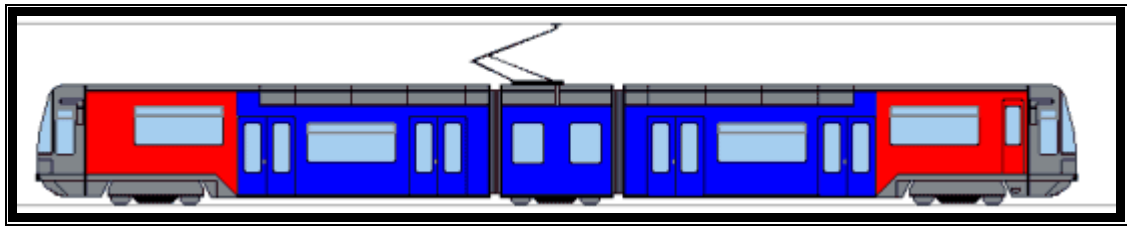





Figure 1 : Circulation à l'intérieur de la rame du TFS, RATP, 1998



**Figure 2 : Les différents « espaces » à bord du TFS, RATP, 1998**

-  Accès, espaces urbains et accessibles aux personnes à besoins spécifiques
-  Espaces « suburbains »
-  Compartiments techniques

---

---

## **ANNEXE V : Caractéristiques du tramway sur pneus, Translohr.**

---

---



Les caractéristiques du Translor sont pour le modèle STE4 (comparable au TFS, valeur du TFS entre parenthèses) :

- Longueur hors tout	32,00 m	(29,40 m)
- Largeur de caisse	2,20 m	(2,30 m)
- Hauteur de plancher	0,25 m	(0,85 m)
- Capacité en charge normale	170 places – 48 assises	(174 – 76 assises) (4 pers/m <sup>2</sup> )
- En charge maximale	238 places	(252 places) (6,6 pers par m <sup>2</sup> )
- Puissance	400 kW	(2 x 275 kW)
- Vitesse maximale	70 km/h	(80 km/h)
- Tension nominale	750 volts D.C.	(750 volts D.C.)
- Pente maximale de franchissement	13 %	

- Modularité du tramway sur pneus :

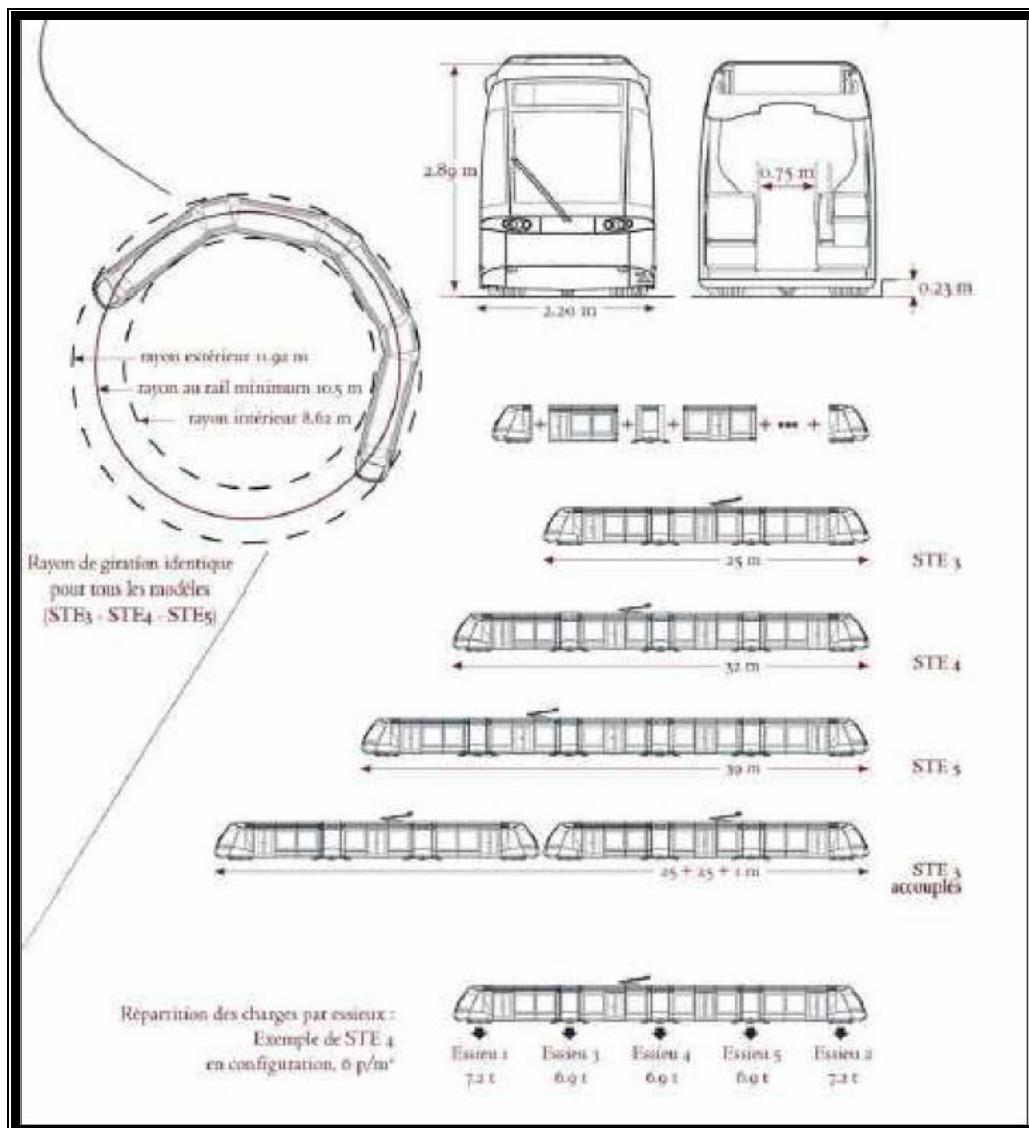


Figure 3 : Extrait de la plaquette LOHR, Translohr, Tramway sur pneus, Lohr DDOC, 2004

---

## **ANNEXE VI :** Précisions sur les autres modes de transports guidés.

---

## LE METRO VAL

Issu d'un brevet portant sur les automatismes d'un métro sans conducteur déposé par Robert Gabillard le 31 juillet 1971, il est construit par Matra (aujourd'hui Siemens Transportation Systems) pour équiper le réseau de la métropole lilloise.

A l'origine, il s'agissait de l'abréviation du tracé expérimental, à savoir Villeneuve d'Asq – Lille. Et plus tard, afin de l'adapter aux autres villes intéressées, VAL deviendra : Véhicule Automatique Léger. Inauguré le 25 avril 1983 et mis en service le 16 mai 1983, deux lignes traversent maintenant l'agglomération lilloise.

Le Val (Véhicule Automatique Léger) est un métro sur pneus totalement automatique en deux gabarits.

### **Modèles étroit 206 et 208**

206 et 208 indique leur largeur en cm.

Le modèle 208, le plus récent, dispose d'un moteur par roue d'une puissance de 65 kW chacun, de type « synchrone à aimants permanents » en transistors I.G.B.T. (Insulate Gate Bipolar Transistor) tenant des tensions élevées de plus de 1600 Volts..

Il est présent sur les réseaux suivants :

- Métro de Lille en 1983
- Aéroports de Paris : Orlyval, desserte de l'aéroport d'Orly en 1991
- Métro toulousain en 1993
- Métro de Rennes en 2002

### **Modèles larges**

Il est possible de citer :

- La ligne 14 du métro parisien, appelée Meteor en octobre 1998.
- La ligne D du métro de Lyon, MAGGALY (Métro A Grand Gabarit de l'Agglomération Lyonnaise), inaugurée en 1992.

Les systèmes automatiques de transport urbain en service en milieu urbain sont des systèmes qui circulent sur site propre intégral, en automatique, avec des véhicules aux caractéristiques tout à fait variées.

L'application de l'automatisme intégral de conduite aux nouveaux systèmes de transport est la conséquence d'une recherche de performances techniques (vitesses élevées, réduction des intervalles entre rames, accroissement de la sécurité) que la conduite humaine ne permettrait pas d'obtenir. En effet, aux heures de pointe sur le réseau de métro urbain de Paris et d'autres réseaux à travers le monde, la plupart des lignes fonctionnent déjà depuis plus de vingt ans en automatique au moins aux heures de pointe, c'est-à-dire celles où la conduite doit être la plus performante et celle où l'attention des conducteurs risquerait d'être sollicitée au-delà de ce qui est humainement possible.

L'utilisateur est sensible à une haute fréquence de passage qu'apporte l'automatisme intégral, en supprimant toutes les longues attentes en station. Cette qualité redonne de l'attrait au transport public. Une haute fréquence de passage a un autre avantage : celui des coûts de construction des systèmes de transports. Par exemple, à capacité égale, le métro léger – type TFS – circulant en rame de trois véhicules toutes les quatre minutes peut offrir une capacité de 7830 phd, le métro automatique – type VAL – circulant en rame de un véhicule avec un intervalle de soixante douze secondes offre une capacité de 8000 phd). Dans le premier cas, la longueur des quais est de 90 mètres, dans le second, la longueur des quais est de 26 mètres. De plus, une haute fréquence de passage dans les stations évite d'emmagasiner un nombre élevé de voyageurs et permet de réduire les dimensions des stations.

## LE TRAM-TRAIN

La première expérimentation est le réseau des tramways de Karlsruhe (Allemagne) qui possède une flotte de tramways bicourant 750 V / 15000 V 16,66 Hz, apte à circuler sur le réseau de la Deutsche Bahn AG (DB). Depuis 1992, ces véhicules traversent la ville dans la rue, puis rejoignent les voies du chemin de fer pour desservir les environs. Ils remplacent les anciens trains régionaux et offrent au voyageur l'accès direct au centre-ville.

Ouvert en 1997, le nouveau réseau tramway de Saarbrücken a repris la formule pour franchir la frontière franco-allemande et gagner Sarreguemines. En Suisse, les tramways sont à voie étroite, ce qui ne permet pas de telles pénétrations. Seul le nouveau réseau lausannois est à voie normale et espère s'étendre en empruntant les voies CFF (la jonction existe en gare de Renens). A Zoug, un tel projet de tram-train est à l'étude. Un autre problème concerne, en Suisse, la pénétration en ville de chemins de fer suburbains à voie étroite. Les lignes de Birsigtal (Bâle) et de Berne-Muri-Worb ont été transformées en tramways, ce qui leur permet de conduire les voyageurs jusque dans la cité.

Très développé dans les pays germaniques (notamment à Karlsruhe – Allemagne – et Zurich – Suisse –), ce système a été mis en service en région parisienne (ligne des Coquetiers entre Bondy et Aulnay), à Mulhouse en 2005, Lyon en 2006 (ligne de l'est : Léa) et devrait être mis à Strasbourg en 2008.

## LE TROLLEYBUS ET SES EVOLUTIONS

Le trolleybus qui a permis de moderniser, à moindre coût, nombre de réseaux dans les années 40, n'a souvent dû son développement qu'à des circonstances extérieures : absence de produits pétroliers, récupération d'installations électriques de tramways en cours de liquidation, mise à l'abri de l'ennemi des réserves de cuivre (lignes aériennes).

Mais, cet essor sera de courte durée car les vingt réseaux en exploitation disparaîtront avant 1972 (le dernier sera celui de Nice le 1<sup>er</sup> septembre 1971) : le temps d'amortir une génération de véhicules. Il a malgré tout survécu dans cinq villes, à savoir Grenoble, Limoges, Lyon, Marseille et Saint Etienne, restées également fidèles aux tramways.

### **Le transport sur voie réservée**

En Belgique, un constructeur, la Brugeoise et Nivelles (BN), étudiait un système de transport mixte : traction électrique par caténaire en mode guidé grâce à des galets escamotables prenant sur un rail central et totalement autonome ailleurs.

Après des essais restés secrets, un prototype de véhicule bi-articulé fut présenté sous le nom de MLP (Métro Léger sur Pneus) mais, rapidement modifié en GLT ( Guided Light Transit). Il circulera durant quelques mois, en 1985, sur une piste en boucle d'un kilomètre établie au pied de l'Atomium à Bruxelles.

Afin de présenter le système en grandeur nature, l'ancienne ligne de chemin de fer Jemelle-Rochefort (4 km) fut convertie au GLT et exploitée par une filiale de BN, GLT Consult. Elle fut ouverte aux transports publics en 1988 et ce durant trois étés. Les deux véhicules (GLT 001 et 002) continuaient hors piste vers Han-sur-Lesse et la station de télécommunication de Lessive. Depuis, elle permet la mise au point de leurs descendants. En 1989, il fut procédé à des essais en unités multiples.

Son moteur principal est électrique. La prise de courant se fait généralement par pantographe et caténaire. Cependant, le réseau de Nancy qui a repris l'infrastructure d'un trolleybus, utilise une prise de courant avec deux perches et deux lignes aériennes. Le TVR dispose également (pour les matériels débrayables d'un moteur auxiliaire diesel destiné aux manœuvres hors lignes, à vitesse réduite.

Mais les premiers réseaux mis en service ont connu des problèmes techniques au cours de l'exploitation. Ces difficultés ont occasionné plusieurs interruptions du service, parfois pour des périodes de plus de huit mois pour Nancy et ont provoqué des accidents. Les problèmes sont vraisemblablement liés à des études préalables insuffisantes, à un matériel dont la fiabilité n'avait pas été suffisamment éprouvée et à des erreurs de conception comme par exemple le frottement puis l'explosion des pneus de la rame lors de l'entrée en station.

Ces déboires nuisent évidemment à l'image du transport routier guidé, mais il affecte également la perception et la confiance du public vis-à-vis des transports en commun dans les communes concernées.

C'est pourquoi la mise en service en 2006 du projet de tramway sur pneus de Clermont-Ferrand qui a fait le choix d'un véritable tramway sur pneus (système non débrayable), a été attendue par beaucoup d'autres collectivités et spécialistes pour vérifier la faisabilité du système.



## LES AUTOBUS GUIDES

### **La notion d'autobus bimode**

Au début des années 1970 est apparue l'idée de l'autobus bimode du point de vue de l'infrastructure : devant les difficultés rencontrées en milieu urbain, on offre à l'autobus une infrastructure réservée, puis, dans les zones résidentielles périphériques, l'autobus continue à rouler en site banalisé.

Par ailleurs, l'accroissement du coût de l'énergie et une prise de conscience des facteurs écologiques ont favorisé l'introduction de l'autobus bimode du point de vue de la motorisation, alimenté par l'énergie électrique (captée) en site séparé et utilisant une énergie embarquée en site banalisé : le réseau de trolleybus de la ville de Nancy a adopté ce type de véhicule (en l'occurrence un bimode électrique / thermique où la source d'autonomie est constituée par un moteur Diesel).

Les différents types de guidage :

- *Le SPURBUS allemand à guidage mécanique*

Il s'agit d'un projet lancé sous l'égide du Ministère allemand de la recherche et de la technologie (BMFT) avec le concours de la firme Daimler-Benz, en vue de la mise au point et de la réalisation progressive d'un service mixte tramway / autobus utilisant les mêmes emprises (notamment en tunnel).

Le guidage des autobus est assuré par des murets verticaux situés le long des voies de roulement, l'autobus étant équipé de roues de guidage latérales qui agissent sur les fusées de l'essieu avant, appelé aussi système O-Bahn.

Des lignes furent exploitées à Essen (Allemagne, 9km, 1980), Adélaïde (Australie, 12 km), Birmingham, Leeds et Ipswich (Grande-Bretagne, lignes d'essais de moins d'un kilomètre).

Ce système est actuellement abandonné.

- *Le SPURBUS à guidage électronique ou magnétique*

C'est un système d'autobus filoguidé, c'est-à-dire un fil enterré dans le sol émettant des ondes électromagnétiques détectées par le véhicule. Il a été étudié sous l'égide du BMFT avec le concours des firmes MAN et Daimler Benz. Une expérimentation a eu lieu à Fürth en 1984-1985 sur une portion de ligne d'autobus de 700 mètres sur la Königswarterstrasse et s'est déroulé dans de bonnes conditions.

Toutefois, aucune suite ne lui a été donnée jusqu'à présent.

D'autres constructeurs ont développé ce système (Néoplan, Mercedes) mais aucun véhicule n'a été utilisé en exploitation. Seul un véhicule (Phileas) est utilisé aux Pays-Bas en phase de test et il est guidé par des plots magnétiques.



**Figure 4 :** Matériel Phileas, APTS

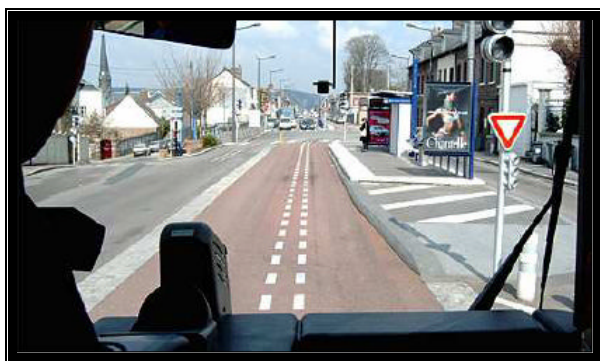
- *Guidage optique*

La société Matra Transport International qui maintenant fait partie du groupe Siemens, a développé en 1995 un système dont l'ambition initiale était de réaliser un guidage optique sur tout le trajet par analyse d'images vidéo de marques peintes sur la chaussée. Or le guidage complet est apparu superflu au cours des recherches : le croisement de véhicules quel que soit la vitesse ne posait pas de problème.

Le système permet donc le guidage de véhicules de type autobus (ou trolleybus) dans la zone précédant et suivant les arrêts. Cela facilite l'accostage et permet de positionner le véhicule par rapport au quai de façon aussi précise que le font les rails d'un tramway.

Ce système est équipé sur plusieurs modèles de bus de l'ordre de 18 mètres de long. Ces bus sont déjà en application à Rouen depuis février 2001.

Une caméra, placée derrière le pare brise, lit sur la chaussée un marquage codé qui matérialise la trajectoire imposée. Un ordinateur analyse la position du véhicule par rapport à la voie et transmet à la colonne de direction les corrections nécessaires.



**Figure 5 :** Système de guidage optique de Rouen, TCAR



**Figure 6 :** Matériel Civis d'Irisbus équipé du système de guidage optique, TCAR

## **MODES DE TRANSPORT ALTERNATIF**

### **SAFEGE**

Une société du nom de SAFEGE – Société Anonyme Française d'Etude de Gestion et d'Entreprises avait conçu un chemin de fer aérien où les véhicules étaient suspendus à une poutre-caisson servant de piste et de guidage aux pneumatiques et à l'alimentation électrique. La voie d'essai, longue de 1300 mètres, a été présentée à la presse le 23 février 1960 à Châteauneuf-sur-Loire, en bordure de la ligne SNCF Orléans-Gien. Le système fut envisagé à Paris pour relier Charenton à Créteil : c'est finalement la ligne 8 du métro qui a été prolongée.

Cette société avait trouvé en Belgique une attention particulière de plusieurs décideurs qui proposèrent de multiples projets intéressants pour chaque ville belge. Certains voyaient dans ce système « LA » solution pour dégager l'emprise au sol. Finalement, seul le Japon se lança dans l'aventure

### **AEROTRAIN**

Entre 1960 et 1970, l'aérotrain de l'ingénieur Bertin est en développement. Trois sites ont permis d'expérimenter cinq véhicules, utilisant tous les principes du coussin d'air et du guide en forme de T inversé :

- Le premier entre Gometz-la-Ville et Limours, sur la ligne Paris-Chartres via Gallardon, compte deux voies parallèles respectivement de 6,7 km (1965) et de 3 km (1971).
- Le deuxième au centre d'essais EDF des Renardières pour l'étude d'un véhicule léger à crémaillères horizontales Tridim destiné aux dessertes urbaines et locales.
- Le troisième, une longue ligne de 18 kilomètres à 5 mètres de hauteur à travers le paysage de la Beauce, entre Ruan et Saran (Loiret) et parallèle à la grande ligne Paris-Orléans.

Ces expérimentations n'ont toute fois pas abouti à une exploitation durable.

### **POMA 2000**

Les établissements Jean Pomagalski établis à Fontaine (Grenoble) sont le grand spécialiste des remontées mécaniques. Ils ont aussi développé un système funiculaire automatique applicable aux transports urbains sur faible distance : le POMA 2000. Des démonstrations eurent lieu en différents lieux de la vallée de l'Isère de 1972 à 1974. Grenoble fut gratifiée d'une importante étude pour son réseau urbain.

La suppression pour vétusté du tramway de Laon, le 25 janvier 1971, avait rendu difficile les liaisons entre la gare SNCF et la ville haute. Ce fut l'occasion d'expérimenter cette nouvelle technique à grande échelle. Le site de 1500 mètres et les dépendances du tramway ont été récupérés pour installer les deux pistes qui, suivant les sections, sont imbriquées ou non. Deux évitements permettent la circulation simultanée de trois cabines guidées par de petits rails latéraux. Ce système a le défaut d'être localement bruyant et d'être

incompatible avec la voie publique : un viaduc a donc été construit sur la ville basse. Outre les deux terminus, la ligne compte une station intermédiaire (Vaux). Après huit ans de mise au point, l'inauguration eut lieu le 4 février 1989.

## **ARAMIS**

Au cours des années 70, les ingénieurs de Matra ont développé le système ARAMIS – Agencement en Rames Automatisées de Modules Indépendants en Station –. Le principe est simple : le voyageur programme lui-même l'itinéraire de la cabine ce qui suppose un réseau comprenant de multiples ramifications.

Un site provisoire fut installé en 1972 à Orly. En 1985, l'expérience fut renouvelée dans le domaine de la gare de marchandise du Boulevard Victor à Paris, à proximité de la station du RER C. La possibilité de prolonger la ligne d'essai sur la Petite Ceinture en direction de la place Balard n'était pas étrangère au choix du lieu. Le site est maintenant démonté.

Resté en descendance, ARAMIS a, par contre, permis d'expérimenter des principes d'automatisme dont hériteront le VAL et MAGGALY (conduite, accouplement / découplément en ligne, ...).

## **SK**

Ce système de transport sur courte distance a été mis au point par les établissements Soulé à Bagnères-de-Bigorre avec l'aide de l'ingénieur Kermadec.

Le SK est un système de transport faisant appel à des mini-cabines d'une dizaine de places, circulant en continu sur un circuit fermé et pouvant s'embrayer sur un câble. Tractées par le câble, les cabines avancent environ à 20 km/h entre les stations, tandis qu'elles ralentissent à moins d'1 km/h aux stations pour permettre l'accès des passagers. En fait, Soulé construisait déjà des télécabines de ski et a repris le principe technique des remontées mécaniques en lui adjoignant des rails.

Le SK – invention française – a été installé de façon temporaire pour desservir des expositions au Canada (Vancouver 1986) et au Japon (Yokohama 1989) et devait équiper le complexe aéroportuaire de Roissy-CDG. Il était également prévu de l'utiliser pour une liaison entre les gares de Lyon et d'Austerlitz, voire Montparnasse. Depuis 1986, le parc des expositions de Villepinte est desservi par une telle installation.

Le domaine de compétence du SK, tant au niveau technique qu'économique, est le transport hectométrique (autrement dit, des liaisons de quelques centaines de mètres de longueur).

Fonctionnellement, il se trouve ainsi à mi-chemin entre un trottoir roulant et un métro.

Les SK de Roissy démontreront d'ailleurs par l'expérience que le système est techniquement irréaliste pour des liaisons supérieures au kilomètre. A Roissy, le SK construit ne pu jamais être mis en service : la trop grande longueur des câbles de traction nuisait à leur

tension correcte et rendait le système non sécuritaire. Et, c'est désormais le VAL qui doit assurer la desserte interne de la plate-forme aéroportuaire sur les infrastructures du SK.

La liaison entre les gares de Lyon et d'Austerlitz, quant à elle, n'apparaît plus sur les derniers documents de planification : on doit considérer ce projet comme abandonné.

Il n'est plus en service aujourd'hui qu'au parc des expositions de Villepinte.

---

## **ANNEXE VII :** Analyse économique et financière du projet de tramway de Reims Métropole.

---



## État des lieux

D'après les résultats du recensement de 1999, l'agglomération de Reims, formée de 6 communes, totalisait plus de 215 500 habitants dont 187 200 pour la seule commune de Reims (12<sup>e</sup> ville de France). L'une des caractéristiques de l'agglomération tient à sa densité. En effet, avec près de 2450 habitants au km<sup>2</sup>, l'agglomération de Reims est la plus dense de France après Paris. Cette densité élevée se traduit par une forte compacité ; on compte en effet un linéaire urbanisé de 10 km de Murigny à Bétheny (du sud au nord) et de 8 Km de Tinquieux au quartier de l'Europe (d'ouest en est).

La compacité et la densité de l'agglomération rémoise constituent un atout pour les transports collectifs. La ville possède donc un potentiel important pour la fréquentation des transports en commun.

Cependant, l'efficacité commerciale du réseau de transport en commun rémois diminue d'année en année. En effet, le niveau d'usage est passé de 149,3 voyages par habitant et par an en 1990 à 136,3 en 2003. Cela représente une diminution de 13 voyages par habitant et par an, soit - 9%. Une des raisons principales de cette réduction de fréquentation est la diminution, lente mais régulière, de la vitesse commerciale des bus, en particulier en heures de pointe.

Les pistes d'amélioration du réseau de bus sont les suivantes :

- ✓ Augmentation de l'offre kilométrique des bus (longueur des lignes et fréquence), expérience déjà tentée mais qui a atteint ses limites,
- ✓ Augmentation de la vitesse commerciale des bus, mais celle-ci passe nécessairement par la création de nouvelles voies réservées de bus et une priorité aux feux développée.

Une voie réservée aux bus nécessite une emprise particulièrement importante. Le bus n'étant pas guidé, il occupe des largeurs d'emprise plus importantes qu'un mode guidé. En termes d'insertion urbaine, la création de nouvelles voies réservées pour un mode non guidé semble donc être problématique.

C'est pour toutes ces raisons que Reims Métropole a décidé de compléter le réseau de transport urbain par une ligne de tramway.

## Présentation de l'opération

Cette ligne de tramway, longue d'environ 11,2 Km du nord au sud, comprend trois terminus : Neufchâtel au nord, CHU Robert Debré et Gare TGV de Bezannes au sud. La ligne comporte 22 stations voyageurs qui comprendront tous les équipements nécessaires à l'accueil des voyageurs et à la réalisation des correspondances avec les autres modes de transport (trains, bus, voitures particulières). La flotte de matériels roulants tramway s'élèvera à 18 rames de 32 m.

Les objectifs de cette ligne de tramway de l'agglomération rémoise sont :

- ✓ D'améliorer la qualité et l'attractivité du réseau de Transport en Commun par la réalisation d'un axe lourd,
- ✓ De desservir environ un tiers de la population de l'agglomération au moyen d'un système de transport alliant vitesse, fréquence, confort et accessibilité,
- ✓ D'opérer un report des passagers vers un moyen de transport respectueux de l'environnement,
- ✓ De relier deux importants quartiers d'habitats sociaux de la ville (Croix Rouge et Orgeval), en passant par le centre-ville, et deux grands faubourgs (avenue de Laon et de la porte de Paris),

- ✓ De desservir les principaux équipements de l'agglomération (la gare SNCF, la Comédie, les facultés de Droit et de Lettres, le CHU, la gare TGV de Bezannes, ...)
- ✓ De contribuer à la redynamisation du centre-ville et à l'amélioration de son accessibilité (enjeux commerciaux et touristiques),
- ✓ De revaloriser certains quartiers, en cohérence avec la politique de renouvellement urbain.

Les valeurs de base prises pour ce projet sont résumées dans le tableau suivant :

<b>Valeurs de base</b>		
<i>Désignation</i>	<i>Valeurs</i>	<i>Unité</i>
<i>Nombre de déplacements quotidiens en 2006</i>	95 500	déplacements/jour
<i>Recette moyenne d'un déplacement</i>	1,4 €	
<i>Monétarisation du gain de temps</i>	0,45	€/déplacements
<i>Coût de la construction</i>	305,578	M€
<i>Coût d'exploitation</i>	Variable selon l'année	
<i>Taux d'actualisation</i>	4,00%	

*Notes :*

- Le début des travaux est prévu pour juin 2007, date que nous retenons pour notre projet.
- La mise en service du tramway par Reims Métropole est prévue pour novembre 2010.
- Nous prenons dans cette étude une date de lancement en 2011.
- La durée de concession est fixée à 30 ans, de 2010 à 2040.

## **Bilan par acteur**

### **1. Impact du projet sur la demande, échéances à 2011, 2015 et 2040**

Les hypothèses prises en compte pour l'évolution de la demande, sont les suivantes :

*Évolution liée à l'augmentation démographique :*

- ✓ croissance uniforme de 0,13 % par an,
- ✓ croissance de 0,94 % par an de 2007 à 2015 due à l'augmentation démographique suite à l'arrivée du TGV Est.

*Évolution liée à l'ouverture de la ligne de tramway :*

- ✓ croissance de 5,5 % par an suite à la nouveauté de l'offre (de 2011 à 2015),
- ✓ croissance uniforme de 2,0 % par an après 2015.

Le nombre de déplacements quotidiens en 2006 est de 94 500. On remarque que le projet de tramway a un impact positif sur la demande. On suppose que le coût d'un déplacement (ticket) est de 1,40 € (prix supposé fixe valeur 2007) et que celui-ci n'a pas d'influence sur la fréquentation (nombreuses formules d'abonnement, ...).

## 2. Investissement

Le montant total des dépenses pour la réalisation du tramway est détaillé dans le dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique. Voici un tableau qui résume les valeurs définies dans ce document :

Coût d'investissement tramway de Reims	
Désignation	Montant <i>Millions d'Euros (Valeur mai 2006)</i>
A Avant projet	3,237
B Frais de Maîtrise d'Ouvrage de Reims Metropole	19,611
C Frais de Maîtrise d'ouvrage du concessionnaire, de Maîtrise d'œuvre et études	29,226
D Acquisitions foncières, libération des emprises	5,403
E Déviations de réseaux (pris en charge par les concessionnaires)	
F Travaux préparatoires	21,547
G Ouvrages d'art	4,039
H Plate-forme Tramway	9,815
I Voies spécifiques des systèmes ferrrés et guidés	23,775
J Revêtement du site propre	6,786
K Voiries (hors site propre) et espaces publics	24,772
L Equipements urbains (mobilier urbain, aménagement paysager, éclairage, locaux conducteurs...)	12,378
M Signalisation routière	2,468
N Stations	2,697
O Alimentations en énergie de traction dont sous-stations	22,068
P Courants faibles et Poste Central de Commande	25,024
Q Centre de maintenance	25,938
R Matériel roulant	46,025
S Opérations induites	
S1 parcs relais et parkings	3,96
S2 arrêts de bus	0,641
<b>TOTAL OPERATION TRAMWAY longueur de tracé définitif de 11,2 km</b>	<b>289,491</b>
T Opérations annexes à l'opération Tramway	
T1 Trémie	11,968
T2 Aménagement urbain : Square Colbert - Parvis Gare	4,12
<b>TOTAL OPERATIONS ANNEXES</b>	<b>16,087</b>
<b>TOTAL</b>	<b>305,578</b>

Voici de même le coût total d'exploitation du réseau de transport en commun (tramway + bus) :

<b>Coûts d'exploitation</b> (valeur 2006)			
	2006-2011 (par an pour la période)	2011-2015 (par an pour la période)	2015-2040 (par an pour la période)
<b>Coût du personnel d'exploitation</b>			
Nombre d'employés	465	464	464
Coût moyen / employé	45 161	45 530	47 901
Total personnel exploitation /an	21 000 000	21 126 000	22 226 000
<b>Assurances</b>			
Bus	438 000	400 000	400 000
Tramway	0	334 000	334 000
Total assurances	438 000	734 000	734 000
<b>Frais kilométriques</b>			
Bus	6 380 000	5 759 000	5 750 000
Tramway	0	3 163 000	3 163 000
Total frais (carburant, entretien)	6 380 000	8 922 000	8 913 000
<b>Communication</b>			
Total communication	500 000	700 000	450 000
<b>Gestion réseau de distribution</b>			
Total réseau distribution	85 000	89 000	90 000
<b>Entretien des stations</b>			
Total entretien stations	6 200	6 200	6 200
<b>Frais généraux</b>			
Total frais généraux	5 335 000	6 000 000	6 500 000
<b>Affretement</b>			
Total affretement	545 000	565 000	565 000
<b>Marge/aléas</b>			
Marge	171 000	581 000	581 000
Aléas	123 000	924 000	924 000
Total marge/aléas	294 000	1 505 000	1 505 000
<b>TOTAL</b>	<b>34 583 200</b>	<b>39 647 200</b>	<b>40 989 200</b>

### 3. Étude socio-économique

#### a) Gains de temps des usagers des transports en commun

Les gains de temps sont une des motivations majeures des investissements en transports. Leur valorisation monétaire représente le plus souvent une part prépondérante de la rentabilité des projets. On suppose que le gain de temps par déplacement est de 0,45 €.

### ***b) Gains de temps pour les usagers des véhicules particuliers***

Ces gains de temps sont liés à la décongestion du réseau routier grâce au report d'une partie du public sur le Tramway et grâce au nouveau plan de déplacement urbain. Ils sont comptabilisés en tenant compte de la diminution de kilomètres du trafic en véhicules particuliers et sont estimés à 1,68 millions d'euros pour l'année 2011.

### ***c) Réduction de la pollution atmosphérique***

La pollution de l'air porte atteinte à la santé, détériore le cadre de vie et, plus généralement encore, l'environnement et le climat. Pour le calcul, les valeurs correspondant à l'urbain dense sont retenues (2,9 € / 100 véh.km pour la voiture en 2000 et 24,9 € / 100 véh.km pour le bus). Le gain final est calculé en prenant le nombre de kilomètres parcourus en moins par les véhicules à essence ou gasoil (le tramway est un véhicule propre), soit 0,43 M€/an.

### ***d) Impact économique pour la nation***

Le gain pour la nation est calculé avec la TVA. Celle-ci est calculée uniquement sur les consommables : le carburant consommé et les recettes des transports en commun, soit un gain de 0,6 millions d'euros pour l'année 2011.

### ***e) Sécurité des personnes***

Le coût d'un blessé ou d'un tué à cause du réseau de transport en commun est monétarisé de la manière suivante :

- Tués 1,5 M€
- Blessés 150 000 €

On considère une diminution du nombre de tués de 6 % et des blessés de 15 %, soit un gain de 0,80 millions d'euros pour 2011.

### ***f) Recette***

La recette est calculée en supposant que chaque déplacement rapporte 1,40 € au concessionnaire (ticket, publicité, ...).

## **Test de sensibilité**

### **1. Définition des variables étudiées**

Les variables qui nous semblent les plus représentatives sont les suivantes :

- ✓ Nombre de déplacements quotidiens en 2006,
- ✓ Recette moyenne d'un déplacement,
- ✓ Valeur du gain de temps par déplacement,
- ✓ Coûts de la construction,
- ✓ Coûts d'exploitation,
- ✓ Taux d'actualisation.

Nous prenons en compte une variation de plus ou moins 20 % pour chacun de ces points.

## 2. Observations

Grâce à cette étude de sensibilité, nous avons pu déterminer les variables prépondérantes dans ce projet. Ces variables sont les suivantes :

- ✓ Trafic de base,
- ✓ Recette moyenne par déplacement,
- ✓ Variation des coûts d'exploitation.

Les variations étant très importantes, il est primordial, en phase d'étude, de concentrer le travail en recherches de données fiables sur ces trois paramètres.

On remarque aussi que la variation du coût de gain de temps n'influe pas sur le résultat final, ce qui est dû au fait que le trafic n'est pas influencé par le gain de temps dans notre modélisation.

L'étude de sensibilité nous confirme que nos données de base sont les bonnes pour avoir un TRI (Taux de Rentabilité Interne ) de 8 % et un bénéfice actualisé aux alentours de 312 M€ (objectifs de Reims Métropole).

### Externalités liées au projet

#### 1. Définition

*« L'externalité ou effet externe désigne une situation économique dans laquelle un agent influe positivement ou négativement sur l'utilité d'un autre agent, sans que cette influence ne se traduise par une variation du niveau des prix. » Source : fr.wikipedia.org*

#### 2. Externalités sur ce projet

Les externalités sur le projet de tramway de Reims sont nombreuses, et sont principalement des externalités positives.

##### **a) Arrivée du TGV Est**

L'arrivée du TGV Est est bénéfique au tramway de Reims. En effet, grâce à la liaison ferroviaire à grande vitesse jusqu'à Paris, Reims va avoir une croissance démographique importante. De plus, le tramway donnera une image moderne de la ville, ce qui incitera plus de franciliens à venir s'installer à Reims. TGV et Tramway auront donc une influence réciproque positive.

##### **b) Commerces du centre-ville**

Les commerces se situant sur le trajet du tramway vont subir directement ses effets. Il y aura tout d'abord une externalité négative pendant la phase travaux, comme ce fut le cas lors de la réalisation du parkings souterrain d'Erlon (difficulté de circulation, de stationnement, de circulation sur la place piétonne, ...).

Cependant, la création de parking sur le tracé du tramway, ainsi que la création d'un ticket "Parking + Tram" aura un effet positif sur les commerces, en particulier ceux de l'hyper centre rémois. En effet, lors de grandes manifestations (marché de Noël, ...), il est très



difficile de stationner en centre-ville. Le tramway permettra donc de décongestionner le centre-ville (en reportant une partie des véhicules sur les parkings extérieurs), et augmentera donc sa fréquentation.

***c) Effet de serre***

Le tramway a une externalité positive sur l'effet de serre puisque c'est un mode de transport propre. De plus, la convention signée entre Reims Métropole et le groupement MARS impose l'utilisation maximale de solutions propres pour le réseau de bus, en particulier l'adoption du bioéthanol.

***d) Confort des citoyens***

Le projet de tramway est accompagné d'une réorganisation complète du PDU de l'agglomération rémoise. De plus, l'ensemble des voies se trouvant sur le tracé sera entièrement réaménagé. Ces deux éléments amélioreront le cadre de vie des riverains.

---

---

**ANNEXE VIII :** Processus d'élaboration d'un projet  
d'infrastructure en région d'Ile-de-France.

---

---

# PROCESSUS D'ELABORATION D'UN PROJET D'INFRASTRUCTURE EN REGION D'ILE-DE-FRANCE

Partenaires

**SCHEMA DIRECTEUR  
DE LA REGION ILE-DE-FRANCE**

CHOIX D'UN RESEAU A LONG TERME

DRE, STIF, CG, DDE, Municipalités

ETUDES PRELIMINAIRES

ETAT - Région Ile de France -  
Collectivités locales

**CONTRAT ETAT - REGION**

STIF

DECISION D'ELABORER UN SCHEMA DE PRINCIPE

COMMISSION DE SUIVI PRESIDEE PAR LE STIF  
*consultation du public*

CRIF, DRE, CG, DDE,  
Municipalités, Elus locaux,  
Associations, Public

DEBAT PUBLIC

PUBLICATION DU RAPPORT

OU CONCERTATION PREALABLE

BILAN DE LA CONCERTATION

STIF, CRIF, DRE, CG, DDE,  
Municipalités

SCHEMA DE PRINCIPE

Conseil d'Administration RATP

Conseil d'Administration STIF

ENQUETE PREALABLE A LA DUP  
ENQUETE PUBLIQUE  
(Etude d'Impact)  
rapport du commissaire enquêteur  
Mise en compatibilité des POS

ENQUETE PUBLIQUE  
type «Bourchardeau»  
si pas de DUP

Préfet ou Conseil d'Etat

Déclaration d'Utilité Publique

AVANT PROJET

Conseil d'Administration RATP

Conseil d'Administration STIF

CONVENTION DE FINANCEMENT

Etudes détaillées,  
PRO,DCE

EXPROPRIATIONS

TRAVAUX

---

---

## **ANNEXE IX :** [Planning chemin de fer, RATP.](#)

---

---



### Planning prévisionnel des travaux

