

# **Les atouts des métros légers dans une politique de développement des transports collectifs : Critères de choix techniques et financiers.**

Ed.2

**BARBIEUX Chantal**

**CETUR, France.**

**KÜHN Francis**

**INRETS, France.**

## **Introduction.**

Le problème de transport de masse se pose avec de plus en plus d'acuité dans un grand nombre de villes multimillionnaires, mais aussi dans de nombreuses villes de taille moyenne, tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement.

La crise des villes et la prise de conscience de l'importance de l'activité économique générée par les villes dans la richesse du pays renforcent l'urgence de la réalisation d'équipements lourds de transport à partir d'un certain niveau de trafic.

Le débat engagé au niveau du choix modal, qui portait sur la justification a priori et surtout a posteriori, des systèmes lourds de type métro se poursuit ; bien qu'aujourd'hui, il soit admis, notamment par les bailleurs de fonds, que pour les agglomérations de très grosse taille, il n'y ait pas alternatives .

Cependant, on observe, depuis quelques années, un intérêt grandissant pour une technologie intermédiaire de transport de masse : le métro léger et, en particulier, le tramway.

Actuellement, plus d'une soixantaine de projets d'axes lourds tramways, partiellement ou intégralement en site protégé, au sol ou en viaduc, ont fait l'objet d'études approfondies, dont un tiers pour les pays en développement (Amérique latine, Asie, Pays du Maghreb), un tiers pour les pays d'Europe et approximativement un autre tiers pour les pays d'Amérique du nord.

Les réalisations et mises en exploitations récentes dans les pays industrialisés, notamment en France, présentent un bilan positif en termes de trafic, de résultats d'exploitation et en terme d'impact sur l'agglomération.

Dans les pays en développement, les mises en exploitation récentes sont rares. Les cas de Manille, et surtout celui du métro léger de Tunis, constituent des expériences permettant d'éclairer le choix des responsables de transport, qui s'est porté sur le métro léger pour résoudre les problèmes de déplacements et de structuration de l'espace urbain. Les projets de Curitiba, Guadalajara, Casablanca, au stade d'études pour deux d'entre eux et de construction pour Guadalajara, sont également de bonnes références.

La communication porte sur un choix modal spécifique, le métro léger : son évolution et ses perspectives. Elle s'intéresse à un certain nombre de critères essentiels d'ordre urbanistique, technique et financier. Elle s'articule autour de deux points :

- I. L'évolution et les perspectives du métro léger dans les pays en développement.
- II. L'approche méthodologique et les critères de choix.

## **I. L'évolution et les perspectives du métro léger.**

L'émergence d'un grand nombre de projets de métro léger semble bien confirmer que ce type de solution peut répondre 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.

On constate que :

**1 / La taille des villes desservies par les réseaux de tramways ou métro léger** est très variable selon les continents et les pays. La taille la plus répandue se situe entre 100 000 et 700 000 habitants (cf. fig.1).

Toutefois, on trouve aux USA de nombreux réseaux de métro léger dans des villes allant jusqu'à 1,5 millions d'habitants, et 2 à 6 millions dans les PED.

Sur 125 villes répertoriées dans le monde, il y a 1700 km de métro et métro léger en cours de construction, dont 400 km de métro léger et 100 km dans 8 villes des PED (fig.2).

En 1988, on compte 304 réseaux de tramways dans le monde (pour 20 730 km de lignes et 51 960 véhicules), dont 17 dans les PED, 179 dans les Pays de l'Est, 108 en Amérique du Nord, Japon et l'Europe.

**2 / La capacité d'un système de métro léger est très étendue selon son mode d'exploitation.**

Le métro léger offre des capacités qui se situent entre 10 000 et 45 000 passagers par heure et par sens. Ses caractéristiques dépendent de son mode d'exploitation. La souplesse d'adaptation du système de métro léger permet de passer des caractéristiques du tramway, au sol, en site propre partiel avec franchissement à niveau des carrefours, à un système se rapprochant du métro, avec site propre intégral.

La tendance générale qui se dégage pour les réseaux de tramways est en faveur d'infrastructures en situation protégée permettant des vitesses commerciales entre 18 et 26 km/ heure pour une capacité allant jusqu'à 15 000 pas./Heure/sens. Pour des caractéristiques maxima, c'est-à-dire avec des fréquences de passage de 30 à 50 par heure pour des capacités par rames pouvant aller jusqu'à 900 places, le métro léger doit être entièrement isolé des autres circulations urbaines et être doté d'une signalisation de régulation et de protection. On peut noter que le métro léger reste en compétition avec les systèmes d'autobus qui permettent, lorsqu'ils circulent dans des couloirs réservés, des capacités équivalentes (10 000 pas./h/sens et jusqu'à 30 000 pas./h/sens avec une organisation très particulière au Brésil) ; cependant le métro léger assure des conditions de régularité, de vitesse et confort beaucoup plus grand.

### Quelques exemples de capacité de métro léger

Ville	Population $10^6$ habs	Linéaire du Réseau En km	Capacité max. unitaire d'1 veh 8 pas/ $m^2$	Fréquence maxi minute	Trafic quotidien (pas./jour) Flux p/h/d
<b>Tunis</b>	1,6	30	364 UM=2	2'	100 000** 21 840
<b>Manille</b>	7	14,5	415 UM= 2 à 3	1'30" à 2' 30"	245 000 à 500 000 19 920 à 49 800
<b>Grenoble</b>	0,4	8,9	174* UM= 1 à 2	4' 30"	64 000 2320 à 4640

Nota: \* La capacité unitaire des véhicules sur les réseaux français est donnée sur la base de 4 passagers /  $m^2$  debout; sur la base de 8 pas./ $m^2$  cette capacité unitaire devient pour le matériel de Grenoble 294 pas. \*\* Tunis, trafic quotidien sur la ligne sud. UM = Unité Multiple

### **3 / La progressivité du système.**

Un système de métro léger peut être réalisé progressivement : la construction peut se limiter à certains tronçons ou concerter l'ensemble du réseau. Dans certaines hypothèses, il peut être opportun d'améliorer d'abord les principales sections alors que dans d'autres on préfèrera 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 après la prise de décision de sa réalisation.

Deux raisons militent en faveur d'un court délai d'exécution :

- 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'emprunt 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 ne pèse d'autant plus lourdement que la réalisation s'étale dans le temps.

- 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 controverse. 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'information du public, indispensables pour une bonne assimilation du projet.

### **4 / Un coût d'investissement et un coût d'exploitation acceptables**

#### **a / Les infrastructures.**

Les coûts d'infrastructure sont très variables d'un projet à l'autre. Ces coûts dépendent fortement de l'importance des ouvrages d'art et des tronçons en souterrain qu'inclut le projet.

Nous distinguons le coût de génie civil et le coût des équipements ;

- Le coût de génie civil regroupe :

- . Les acquisitions foncières
- . La plate-forme et les ouvrages d'art
- . Les déviations de réseaux
- . Les bâtiments (sans équipements)
- . Le génie civil des stations
- . Les réaménagements de voirie
- . Les opérations d'accompagnement.

- Le coût d'équipements regroupe :
  - . La voie et les appareils de voie
  - . L'alimentation en énergie électrique (ligne, feeder, sous - stations)

Les exemples français donnent les chiffres suivants pour le génie civil et équipements :

- Au sol : **40 MF** (val.88) par km de voie double,
- Au sol avec 20 % de tunnel : **90 MF** " "
- Au sol avec des ouvrages : **115 MF** " "

Une étude de marché sur les projets de tramways en PED, établie par Sofretu, donne les indications théoriques suivantes concernant les coûts d'infrastructures et d'équipements en fonction du pourcentage de site propre intégral sur le linéaire total du projet, ce pourcentage est lié à la taille des agglomérations concernées.

% de site propre intégral	Taille de l'agglomération en 10 <sup>6</sup> hab.s.	Génie civil en MF HT 88 par km v.d.	Equipements en MF HT 88 par km v.d.
0	0,5 à 1	<b>40</b>	<b>20</b>
25	1 à 3	<b>50</b>	<b>25</b>
50	3 à 6	<b>60</b>	<b>30</b>
100	> 6	<b>80</b>	<b>40</b>

Source:Sofretu      km v.d.= kilomètre de voie double.

### b/ Le matériel roulant.

Le prix du matériel roulant varie d'un constructeur à l'autre et du type de matériel envisagé.

Le matériel français à plancher bas, haut de gamme, sophistiqué, est adapté aux exigences des pays industrialisés. Le coût du véhicule construit par Tatra pour les pays de l'est a été estimé à 1,9 MF (val.Jan.88), pour un véhicule, dont les caractéristiques géométriques sont 14,70 m de long et 2,50 m de large.

Chez la plupart des constructeurs européens, le coût du véhicule est plus proche de 6 millions de Francs (val.88), avec des caractéristiques variant d'un type à l'autre.

Ramenés au m<sup>2</sup> de plancher de véhicule, les prix constatés varient entre 100. 10<sup>3</sup> et 160.10<sup>3</sup> Francs en Europe et USA, tandis que pour les deux exemples PED et les Pays de l'Est, les prix se situent entre 50.10<sup>3</sup> et 70.10<sup>3</sup> Francs.

Nous présentons dans le tableau suivant quelques prix au m<sup>2</sup> (val.Jan.88) des véhicules mis récemment en service sur différents réseaux de métro léger. Les prix tiennent compte de quantités identiques pour une série de 100 véhicules.

### Le Matériel Roulant

<b>Ville du réseau</b>	<b>Ensemblier</b>	<b>Caractéristiques Géom. long. x larg. en ml</b>	<b>Coût unitaire en MF</b>	<b>au m<sup>2</sup> 10<sup>3</sup> F</b>
<b>Genève</b>	Vevey	21,90 x 2,30	<b>8,2</b>	<b>163</b>
<b>Zürich</b>	Sig-Schlieren	20,00 x 2,20	<b>7,1</b>	<b>161</b>
<b>Cote Belge</b>	B.N.	23,00 x 2,50	<b>8,5</b>	<b>148</b>
<b>Grenoble</b>	Alsthom	29,40 x 2,30	<b>9,8</b>	<b>145</b>
<b>Nantes</b>	Alsthom	28,5 x 2,30	<b>8,0</b>	<b>122</b>
<b>Hanovre</b>	Düwag	27,00 x 2,40	<b>7,2</b>	<b>111</b>
<b>Amsterdam</b>	L.H.B.	24,00 x 2,30	<b>5,8</b>	<b>105</b>
<b>Manille</b>	B.N.	29,3 0 x 2,50	<b>5,2</b>	<b>71</b>
<b>Tunis</b>	Düwag	29,10 x 2,50	<b>5,2</b>	<b>71</b>
<b>Pays de l'Est</b>	Tatra	14,70 x 2,50	<b>1,9</b>	<b>52</b>

Source: Sofretu.

### Coût total avec matériel roulant et infrastructures.

A titre tout à fait indicatif, à partir d'un certain nombre d'hypothèses ( coût du matériel env.

6 MF / véhicule), coût de l'infrastructure et équipements mentionnés plus haut, on peut donner quelques estimations, prenant en compte des vitesses commerciales variant entre 18 et 28 km / h et une capacité située de 5000 à 20 000 pas./h/sens variant avec la taille des villes.

Ces coûts, au km de métro léger, corrigés d'un coefficient pour aléas, sont à comparer aux 300 MF en moyenne pour un km de métro lourd.

### Coût au km du Tramway en PED

Taille de l'agglomération en $10^6$ hab.s.	Infrastructures & Equipements MF 88 / km v.d.	Matériel Roulant MF H.T. 88	Total (Inf.+ Mat.) x 1,10 par km de ligne
0,5 à 1	<b>60</b>	<b>22,8</b>	<b>91</b>
1 à 3	<b>75</b>	<b>40,8</b>	<b>127</b>
3 à 5	<b>90</b>	<b>54,0</b>	<b>158</b>
> 6	<b>120</b>	<b>62,4</b>	<b>201</b>

Source Sofretu.

Nota: ces chiffres sont des ordres de grandeur, dans chaque cas on devra adapter les coûts d'infrastructures aux conditions économiques du pays et le coût du matériel roulant à la quantité commandée.

## II. L'approche méthodologique et les critères de choix.

Les méthodologies associées aux études de faisabilité d'un axe lourd de transport en commun, ne préjugent pas du choix final des décideurs, qui peuvent faire entrer en ligne de compte des arguments non retenus dans le projet local. Par ailleurs, ces méthodologies ne sont pas toujours d'une parfaite "neutralité", dans la mesure où les approches font intervenir des éléments aléatoires et prévisionnels. Le caractère "scientifique" de l'utilisation de modèles et outils mathématiques est en grande partie fragilisé, par l'absence ou la mauvaise qualité de données, et par l'introduction de données sociologiques et environnementales, difficiles à quantifier et à extrapoler.

Ces méthodologies ont cependant l'avantage de constituer **un cadre de base pour la réflexion.**

Elles permettent de lister les éléments à prendre en compte pour une évaluation globale. Elles rendent également possible la comparaison entre les cas étudiés, à partir d'une même grille de lecture. "L'intelligence" de la situation, la connaissance du site restent toutefois essentielles dans la démarche.

Le cadre méthodologique varie dans le temps et se complexifie avec l'émergence de nouvelles préoccupations : notamment l'environnement, la sécurité, le confort, qui peuvent devenir décisives dans le choix final.

Les contraintes et contextes des pays en développement diffèrent de ceux des pays industrialisés :

- Rythme de développement de l'urbanisation.
- Croissance de la population et taille des villes.
- Habitudes sociologiques.
- Répartition modale.

- Environnement institutionnel.
- Contraintes économiques et financières.

Ils nécessitent d'introduire des éléments spécifiques et des outils statistiques adaptés par rapport à la démarche adoptée pour les pays industrialisés. Le fil conducteur reste cependant valable pour répondre à un certain nombre de questions.

#### **- 1. Le cadre général de l'approche méthodologique.**

Le cadre méthodologique est basé, d'une façon générale, sur la comparaison de 2 (ou plusieurs) scénarios :

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

#### **- 2. L'analyse se fait à un horizon de 10 à 20 ans.**

L'axe lourd métro léger ayant des effets structurants, dont les conséquences n'ont de mesures qu'à terme.

#### **- 3. Les instances de décision.**

L'étude d'un métro léger fait intervenir des décisions en terme d'aménagement de l'espace viaire existant et à venir, de planification urbaine, 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 généralement coûteuses.

#### **- 4. La planification.**

Elle suppose des arbitrages de la répartition globale de l'espace urbain 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'heure de pointe du matin et du soir et qui exigent des espaces supplémentaires pour le système de transport, à prendre en compte dans les prévisions de trafic pour dimensionner le système.

Le système lui-même engendre un trafic induit, agissant sur l'aménagement urbain, d'où une itération entre les aspects transports et la planification urbaine.

Les études d'opportunité d'un axe lourd ou d'un transport en commun en site protégé de type, métro léger fait intervenir 3 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.
- Dépendance financière.
- Transfert de technologie.

## **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 à partir d'études plus lourdes. Il s'agit, en particulier, de critères portant sur:

### **1.1 Les caractéristiques urbanistiques.**

- . 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.
- . Site limité ou non dans l'espace.
- . Localisation géographique.
- . 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.
- . densité .

- Linéaire du réseau viaire.

Les cas existants de métro léger font apparaître des situations extrêmement différentes : aussi bien au niveau de la taille d'agglomération comme nous l'avons vu (de 100 000 à 400 000 dans les pays industrialisés, 500 000 à 6 millions dans les pays en développement), que dans la configuration. La fonction que joue l'axe du métro léger dans l'agglomération est également différenciée selon les 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. Elle assure :

à/ - la desserte des couloirs à fort trafic, en particulier au centre de l'agglomération où sont rassemblés de nombreux emplois, commerces et services.

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 (cf. tableau des densités).

Ville	Population en 10 <sup>6</sup> habs. Agglo. Ville	Densité habs. / ha. Agglo. Ville	Flux max.pas./h/sens
Asuncion	0,67    0,51	12    43	7500 à 13 000 *
Casablanca	2,8	106	12 000**
Guadalajara	3,8    2,7	75	4656 à 9312
Hong Kong Tuen Mun	5,31    2,14	5    285	11 184 à 27 960
Manille	7,9	124	19 920 à 49 800
Tunis	1,39	87	7280 à 21 840
Cologne	1,2    1	24    25	5520 à 11 178
Lisbonne	1,8    0,82	40    98	
Nantes	0,47    0,25	10    38	1720 à 4128

Source : UITP 1985 & Modern Tramway.

Nota : Les flux maxi qui apparaissent dans ce tableau sont calculés à partir des capacités unitaires maximum (8 pas./m<sup>2</sup> dans les véhicules exploités en PED et 4 pas./m<sup>2</sup> pour ceux qui sont exploités dans les pays industrialisés) et des fréquences de passage actuelles et prévues à terme.

\* Flux estimé sur un projet d'axe lourd en 1995 à Asunción.

\*\* Flux estimé pour 1992 à Casablanca : on peut se demander s'il n'y a pas surestimation de la demande à Asunción compte tenu de la densité.

b/ - le recentrage des agglomérations après la périurbanisation galopante de la dernière décennie : une illustration nous est fournie par les processus d'aménagements induits à Grenoble et Fontaine (France), villes qui par les contraintes de leur site montagneux ne pouvaient pas se satisfaire des conséquences de la périurbanisation diffuse.

Ce rôle est également joué par les axes lourds dans certaines agglomérations de Grande Bretagne et USA, 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.

c /- 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.

d /- les interventions lourdes dans les quartiers de forte concentration de logements ou équipements publics, tels que l'hôpital, l'université. Le métro léger peut participer à leur désenclavement : cas du métro léger de Buenos Aires, qui relie la station terminale du réseau de métro à une zone nouvelle d'habitat, et une zone dont l'aménagement (équipements, bureaux, logements) a été retardé par manque de moyens financiers.

## **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 centre ancien où la voirie est étroite, utiliser la boucle à voie unique pour certaines lignes radiales. Dans certains cas, la configuration exigera des solutions souterraine ou en viaduc toujours onéreuses.

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

Les autres données nécessaires pour faire le diagnostic concernent notamment :

- . PIB/ habitant.\*
- . Taux d'activité.
- . Emplois.
- . Données socio - économiques.
- . Grands équipements.
- . Caractéristiques des déplacements.

- . Caractéristiques de la demande.
- . Caractéristiques de l'offre.
- . Stationnement, etc...

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 plate-forme ferroviaire qui permet 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, la qualité de la desserte, les possibilités d'insertion, les gains d'accessibilité, les critères urbains de développement de l'agglomération.

C'est au niveau de cette étape que les prévisions de trafic potentiel sont établies à l'aide de modèles.

En ce qui concerne les modèles, il existe aujourd'hui de nombreux modèles de prévisions de trafic et d'affectation. Ces modèles sont souvent inadaptés ou non calés sur la réalité des situations des PED. Caler ces modèles représente un travail très lourd mais indispensable. Par ailleurs, ils ne sont pas facilement transposables d'une agglomération à l'autre.

\* On peut constater que toutes les agglomérations qui ont un projet de métro léger en construction ou en exploitation ont un PNB / hab. > 1000 US.\$ (val.85), exemple Guadalajara 2240\$/hab., Hong Kong 6000 \$/hab., Manille 1000\$/hab, Tunis 1290\$/hab.

D'une manière générale, la plupart des modèles se comportent comme des extrapolations des tendances passées et évaluent difficilement des changements significatifs. D'où la nécessité de vérifier par une connaissance du terrain et une certaine modularité le recours aux modèles et d'établir une étroite coordination avec les Autorités locales.

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 500 à 700 mètres autour de l'axe. Des enquêtes plus lourdes peuvent être réalisées : enquête ménage notamment pour établir les matrices origines - destinations pour lesquelles les techniques des pays industrialisés ne sont pas toujours adaptées, l'exemple d'Alger permet de situer les difficultés rencontrées. Dans ce dernier cas, les techniques utilisées

en France se sont révélées inapplicables, en particulier par le contexte sociologique (notion de ménage, par exemple).

#### **1.4 Choix du mode et son dimensionnement.**

L'intensité du flux à l'heure de pointe constitue 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 1500 et 3000 pas./h/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 pas./h/sens (le réseau de Manille est dimensionné pour une capacité de 45 000 pas./h/sens) comme le montre le tableau ci-après qui reprend et complète les données déjà évoquées :

Ville	Population $10^6$ habs	Linéaire du réseau En km	Capacité max. unitaire d'1 veh 8 pas./m <sup>2</sup>	Fréquence maxi minute	Trafic quotidien en pas./jour Flux phd
<b>Guadalajara</b>	2,5	15,5	388 UM=1	2,5 à 5'	50 000 à 130 000 4656 à 9312
<b>Istambul</b>	6	24,5	296 UM= 3 à 4	2'	450 000 26 640 à 35 520
<b>Tuen Mun</b> <b>Hong Kong</b>	0,4 5,7	23,4	233 UM= 1 à 2	1'15" à 1'	250 000 à 300 000 11 184 à 27 960
<b>Tunis</b>	1,6	30	364 UM=2	2'	100 000 21 840
<b>Manille</b>	7	14,5	415 UM= 2 à 3	1'30" à 2' 30"	245 000 à 500 000 19 920 à 49 800
<b>Nantes</b>	0,5	12,4	172* UM=1 à 2	5' à 6'	50 000 1720 à 4128
<b>Grenoble</b>	0,4	8,9	174* UM= 1 à 2	4' 30"	64 000 2320 à 4640
<b>St Denis</b>	0,25	9,1	174* UM= 1 à 2 4'		55 000 2610 à 5220

Nota: \* La capacité unitaire des véhicules sur les réseaux français est donnée sur la base de 4 pas./m<sup>2</sup>.  
UM= unité multiple.

## **2. La faisabilité du projet.**

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

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 au fil de l'eau.

Cependant, pour certains projets lourds de TC, 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 (gains de temps, sécurité). Sur des bases comparables à celles de l'évaluation financière en valorisant ces données (cost - benefits), on a élargi "l'évaluable" 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.

#### **Étude de cas : Le projet de Tunis.**

Le réseau de tramway de Tunis est en pleine évolution : inauguré en 1986 avec la ligne sud, la ligne nord ouverte en 1989, la ligne ouest sera terminée dans les mois qui viennent, pour un total de 30 km.

Au niveau du bilan, le trafic augmente de 3 % entre 1988 et 1989 sur la ligne sud (6,6 % entre 87 et 88). Les prévisions affichent un doublement de la fréquentation en 1990 (55 millions de voyages). Le déficit par voyageur a diminué de moitié entre 1988 et 1989, le taux de couverture R- D passant de 63,1 % à 75,3 %. Le contrat de programme entre l'Etat et la société prévoit un redressement de la situation, par compression des coûts et augmentation des tarifs et des compensations pour tarifs sociaux. La société en plein développement supporte des coûts d'investissement, non couverts par les augmentations de trafic. Ce n'est qu'avec la mise en exploitation de l'ensemble du réseau qu'un certain équilibre pourra être atteint.

Le coût de l'ensemble du projet est estimé à 164 millions de Dinars (1 Dinar=0,9 \$US 88) répartis entre 29 % sur le budget de l'Etat et 71 % sur crédits extérieurs (allemands et autrichiens). Ce coût ramène le coût du kilomètre de ligne (infras et matériel roulant) à environ 30 MF.

#### **Le projet d'Istambul.**

Le système de métro léger d'Istambul, d'un linéaire de 24 km dont 3,2 km en souterrain, avec 15 stations de surface et 4 stations souterraines et un parc de 105 véhicules est

estimé à 640 millions de Francs suisses (val 88) soit env. 106 MF/ km. L'ensemble du système devrait être achevé à la fin 1990.

#### Le projet de Manille.

La première ligne de métro léger de Manille, longue de 14,5 km en viaduc, avec 18 stations aériennes et un parc de 64 véhicules aura coûté 157 millions d'US\$ (val.86), soit un coût au km de 75 MF (val.86).

#### Le projet de Tuen Mun.

La première phase de 23 km d'un futur réseau de 40 km, comprenant 41 stations et un parc de 70 véhicules a été adjugée à 1 milliard de HK \$ (val 85) (1 US\$ = 7,8 HK \$) soit 128,2M US\$ (val.85) ou 1151,9 MF (val.85) soit 50 MF/ km (val.85).

Il n'est pas possible de tirer une loi générale de ces différents coûts de projet de métro léger car il s'agit d'opérations réalisées dans des pays très différents avec des conditions économiques particulières à chacun d'entre eux. Ils sont cependant, après actualisation, proche du cadrage général évoqué dans la 1<sup>ère</sup> partie : le cas de Tunis est dans la fourchette basse, car il n'y a pas de travaux de génie civil importants.

## 2.2 Les problèmes institutionnels.

Les problèmes institutionnels sont l'un des points essentiels et les plus délicats à étudier dans la mise en place d'un axe lourd. La plupart des PED sont caractérisés par la présence d'une multiplicité de centres de décision agissant sur le système de transport, qui sont un obstacle à la mise en place d'un système global et intégré de transport, basé sur la complémentarité.

À titre d'illustration, l'étude faite sur le réseau du Caire pour la mise en place d'un système global dans le cadre de la mise en exploitation du métro, préconisant des lignes de rabattement du réseau bus et gares d'échanges, n'a pu être appliquée par suite des problèmes tarifaires et de l'absence d'une autorité organisatrice unique, pouvant assurer la coordination des modes.

L'étude du développement du métro régional de Valparaiso (Chili), basée sur la mise en complémentarité du réseau autobus avec la ligne ferrée, comportait un élément important sur l'aspect institutionnel et préconisait la création d'une autorité unique organisant le transport ou la création d'une entreprise publique, ayant le monopole du transport dans la zone afin de limiter la concurrence entre les modes.

De nombreux autres cas peuvent être cités. La mise en place d'un axe lourd n'est pas viable à terme dans des conditions de concurrence entre modes. C'est l'une des remarques essentielles de l'étude du T.R.R.L. sur les métros dans les PED.

## **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 du même problème 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 dégager des économies sur le réseau d'autobus.

La restructuration est d'autant plus difficile dans le cas de multiples opérateurs non coordonnés.

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 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, mais le manque de gare de rabattement a retardé la réorganisation du réseau. Ceci a pu être fait parce que les principales sociétés exploitantes (SNT, SMLT et SNCFT dépendent d'un même Ministère).

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

### **3.1 Les impacts urbains.**

Les impacts économiques et urbains ont pu être évalués dans les cas de mise en exploitation récente de réseau de tramway en France, à Nantes et à Grenoble.

Certains de ces impacts ont pu être évalués par des enquêtes avant et après projet. Dans les deux cas, le trafic réalisé a été nettement supérieur aux prévisions : l'effet vitrine du tramway ayant 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. Au surplus, 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.

En ce qui concerne les impacts du métro léger de Tunis, le projet est trop récent pour en tirer tous les enseignements. Par ailleurs, il n'y a pas eu d'enquêtes avant - après.

On peut noter que la réalisation du tramway a entraîné une baisse des investissements sur l'offre de transport par autobus, par manque de financements pour la société routière pendant plus de 5 ans. La diminution de l'offre a entraîné une certaine stagnation de la demande avant la mise en exploitation du réseau de tramway en 1985. En 1988, le trafic sur la ligne sud du métro léger a cru de 6,6% par rapport à 1987, augmentation sensible en partie grâce au trafic rabattu. On a pu constater en outre que les terrains présentent une plus value foncière (augmentation des loyers, densification urbaine). Le constat est partiel ; il faut attendre la mise en service de la totalité du réseau de tramway pour évaluer à terme ses effets. La diffusion de l'urbanisation dans la périphérie de l'agglomération tunisienne est un obstacle à sa structuration par un axe lourd qui nécessite un certain volume de trafic.

Le nouveau système de transport a, cependant, indéniablement contribué à valoriser l'image des transports collectifs et à les rendre plus attractifs par le confort, la régularité, offerts et la modernité du matériel. ( Source Baltagi A. SIDES International Seminar, London 9 - 13 October 1989).

### **3.2 La dépendance financière.**

Une grande partie du débat sur le choix technologique et des atouts du tramway par rapport à d'autres solutions, notamment l'autobus - l'autobus articulé, vient du coût de sa réalisation et de son exploitation.

Quelques éléments peuvent être apportés pour mesurer l'effort que peut assumer une collectivité pour les transports :

La part de la production intérieure brute (PIB) qu'un pays consacre à l'activité économique "Transports" ne varie pas très sensiblement ni entre différents pays ni, pour un pays donné, au cours d'une longue période de temps. Cette part est, par exemple, de 7% pour le Canada et le Royaume Uni, de 6% pour les USA, le Japon, la RFA, l'URSS, de 5% pour la France et l'Italie.

Il est admis que des équilibres analogues existent à un échelon géographique plus fin que celui des grandes métropoles urbaines. Un indicateur simple et généralement disponible est la production intérieure brute (PIB) moyenne par habitant au niveau national. L'examen du développement récent des grandes agglomérations mondiales montre que le montant des investissements en transports collectifs et individuels représente en général entre 1% et 2% de la PIB. Sur une période de 20 ans, 1% de la PIB constitue un effort remarquable pour les investissements en transports collectifs et 0,5% un effort raisonnablement équilibré. L'enveloppe financière ainsi fixée, est un indicateur

pour déterminer les limites dans lesquelles les projets de transports collectifs peuvent s'inscrire.

Mais les modalités de financement et le niveau d'endettement devront être pris en compte car ils interviennent également très fortement sur les possibilités financières des pays. La compétition internationale entre les pays vendeurs pour ces marchés, contribue à proposer des financements différenciés qui l'emportent parfois sur le choix technologique.

### **3.3 Les transferts de technologie.**

Dans la plupart des PED, il existe une industrie nationale d'autobus et d'autocars qui s'est développée, souvent à partir de châssis étrangers, la carrosserie étant montée localement. Le degré de développement national de certaines filières (autobus en particulier) intervient très souvent dans le choix du système de transport. Ce développement agit favorablement sur la balance des paiements.

L'introduction d'un système nouveau à traction électrique du type tramway, avec un niveau technologique similaire à celui rencontré dans les pays développés permet un transfert de savoir faire qui à plus ou moins long terme constitue une opportunité de développement des industries locales : le métro de Mexico, d'origine française, est aujourd'hui pratiquement intégralement " Mexicanisé", d'ailleurs les travaux d'infrastructures sont effectués par des entreprises locales depuis le début.

L'exemple du métro léger de Buenos Aires (Argentine), construit à partir d'une licence étrangère, montre que certains pays développent, à plus ou moins long terme, des industries locales. En ce qui concerne le métro léger de Monterrey (Mexique), en construction (17 km de tracé en viaduc et 17 stations), les travaux sont réalisés en grande partie par des entreprises mexicaines avec la participation d'entreprises américaine, allemande et canadienne. Les véhicules sont construits avec la participation des entreprises allemandes Düwag, fournisseur des bogies, Siemens fournisseur des équipements de commande de traction, de Melmex (filiale mexicaine de Mitsubishi) pour les équipement de traction, par l'entreprise mexicaine CNCF (Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril ) qui a aussi construit les véhicules du réseau de Guadalajara.

Le Brésil étudie un accord de construction d'un tramway avec des firmes Européennes, dont une grande partie sera conçue et réalisée localement.

Le marché du tramway doit permettre d'accroître les accords industriels avec les pays en développement.

## **4. Conclusion.**

Nous avons insisté sur le fait qu'il n'existe pas de choix de technologie évident. Le métro léger ou le tramway, présente un certain nombre d'atouts pour les PED, notamment :

- 1. **Dans le domaine urbanistique**, il peut favoriser la revitalisation du centre ville, désenclaver des zones périphériques et jouer un rôle structurant dans une urbanisation diffuse.

- 2. **Au niveau de la capacité**, le métro léger offre une gamme très étendue, en fonction de son mode d'exploitation. Pour les capacités les plus faibles, 5000 à 10 000 pas./h/sens, il est en compétition avec le système autobus. Mais pour atteindre ces niveaux, la densité des autobus doit être proche de 80 à 130 véhicules/h /sens.

- 3. **Au niveau des effets sur les transports**, la mise en exploitation d'un tramway provoque un afflux important de demande, dû en partie au trafic induit et au trafic de rabattement. L'effet vitrine et de modernité, confort, régularité et sécurité, joue à plein.

- 4. **Au niveau des coûts, à l'investissement**, le coût au km infrastructures et matériel va de 90 MF à 200 MF soit 2 à 3 fois moins que celui d'un métro lourd, en moyenne, pour un site entièrement protégé.

Les plus values foncières liées à la mise en place de l'axe lourd, les avantages pour les bénéficiaires directs et indirects peuvent constituer des apports financiers pour le financement du système seul, ou pour l'ensemble des transports publics.

- 5. Le tramway assume plusieurs fonctions, il peut **compléter un réseau lourd ou être l'épine dorsale d'un système de transport**.

- 6. Ses effets, sur **l'environnement et les économies d'énergie**, sont à comparer avec d'autres solutions alternatives.

Le métro léger ou tramway suppose une prise de mesures complexes, en particulier:

- 1. Le tramway **nécessite un partage de la voirie**, souvent difficile à arbitrer, en particulier dans les PED, qui se heurte aux intérêts des autres utilisateurs de la voirie : voitures individuelles, mais aussi transporteurs routiers qui constituent des acteurs économiques importants à prendre en compte dans la mise en place de l'axe lourd. Par ailleurs, l'insertion du tramway au centre ville avec des fréquences élevées nécessite des systèmes évolués de régulation de la circulation.

- 2. Sa mise en exploitation suppose **une nouvelle organisation du système global**, mettant en place une coordination avec le réseau bus et la création d'une autorité organisatrice, points les plus faibles dans un grand nombre de villes de PED.

Réciproquement, la réalisation d'un axe lourd peut être l'occasion de réorganiser les réseaux d'autobus existants, en intégrant les transporteurs dans la gestion de la future société exploitant l'axe lourd.

Tel est l'enjeu de cette technologie. L'exemple du renouveau des tramways des pays européens peut avoir un effet d'entraînement sur les PED, à condition que les processus de décision reposent sur des méthodes appropriées et que les matériels, équipements et conditions financières soient adaptés au besoin de ces Pays.

## BIBLIOGRAPHIE

### 1. Évaluation du projet du Métro Léger de Tunis

( BALTAGI A.) SIDES, Tunis. International Seminar on Rail Mass Transit for Developing Countries, Londres 9 - 13 October 1989.

### 2. Les Transports Urbains dans le District de Tunis

(BAOUENDI A) Dir.Gen. District de Tunis. Les sources de la connaissance des transports en Afrique, Paris 16 et 17 Février 1990.

### 3. Study of mass transit in developing countries

(ALLPORT R & THOMSON J) Halcrow Fox & Associates, Contractor Report 188, TRRL.

### 4. Politique et Planification des Transports en commun urbains

par RATP & SOFRETU, Direction du développement G.P. Coopération technique, Sept.1983.

### 5. Recueil UITP des Transports Publics, 1985 - 1986.

### 6. Quels transports urbains en site propre pour les pays en développement ?

(GUITTONEAU F.) Dir. Études Générales RATP, Revue Transports N° 262 Avril-Mai 1981.

7. Issues on mass transit investments in cities of developing countries: rail versus busway débats: (OHTA Katsutoshi), ISUT, Taïpeh, November 1986.

### 8. Les Transports urbains guidés de surface, situation actuelle et perspectives

(KUHN F.) INRETS - CRESTA, Synthèse INRETS N°4, Mars 1987.

### 9. Les Matériels Français de transports collectifs urbains

(PIERRON M.) CETUR,( GIETHLEN JM) DTT, DTT - CETUR Mai 1988.

