

**« La réduction des coûts et le financement de la Ligne 4 du Métro de São Paulo » - Une étude de cas pour une coopération décentralisée -**  
**(«The cost reduction and financing of the São Paulo Metro Line 4»**  
**- A survey of case for a decentralized cooperation -)**

***Peter Ludwig ALOUCHE***

*Responsable Technique de la Revue de l'ANTP*

*<peter.alouche@uol.com.br>*

**ABSTRACT:** The São Paulo Metro line 4, under implantation, is an example of the effort that responsible parties for the project, undertook to optimize the construction and operation costs, to permit its World Bank financing. It is also the first Brazilian public-private partnership project - PPP (public for the construction and private for the operation including the rolling stock acquisition). This could consist therefore in a case of a decentralized cooperation, among the different Brazilian and Latin – American cities.

**RÉSUMÉ:** La ligne 4 du Métro de São Paulo, en cours d'implantation, est un exemple de l'effort que les responsables du projet ont entrepris pour optimiser ses coûts de construction et d'exploitation et rendre possible un financement provenant de la Banque Mondiale. C'est le premier projet brésilien avec un modèle PPP - partenariat public-privé (public pour grande partie de sa construction et privé pour son exploitation et l'acquisition du matériel roulant). Elle pourrait donc se constituer em un cas d'étude pour une coopération décentralisée, entre les différentes métropoles brésiliennes et même latino-américaines.

## 1 INTRODUCTION

Le transport urbain sur rail souffre une importante transformation. Le monopole des entreprises publiques dans ce secteur commence à changer, avec la participation croissante de l'initiative privée dans l'exploitation, l'entretien et même, comme pour la ligne 4-Jaune du Métro de São Paulo, dans la construction des réseaux. Face à la pénurie des ressources financières de l'État, il y a un besoin imminent d'adopter un nouveau modèle de financement, pour assurer à ces réseaux, les ressources nécessaires pour l'expansion et la garantie de la qualité de service.

Connu par ses initiatives innovatrices, le Métro de São Paulo a, durant les 38 années de sa fondation et les 33 années d'opération commerciale, selon les circonstances et ses besoins et suivant le développement technologique du secteur, amélioré ses méthodes, spécifications, normes et procédures dans les différentes phases de ses projets, dans les méthodes de construction de son infrastructure et dans l'exploitation de ses lignes. Pour la ligne 4, l'innovation est aussi dans le financement et la concession des services.

La coopération technique avec les autres réseaux brésiliens et latino-américains, a été, dans la Compagnie du Métro de São Paulo, un instrument de formation, développement et transfert de technologie. Par cet instrument, elle a pu se développer et aussi aider d'autres exploitants du transport dans plusieurs autres villes brésiliennes qui ont adopté ou prévoient des projets de réseaux de métros.

La décision d'une compagnie comme le Métro de São Paulo, d'entreprendre le chemin systématique de la coopération technique, à niveau national et même international, provient de ses directives stratégiques. São Paulo fut la première ville à implanter un métro au Brésil. Avec une préoccupation d'être toujours « à la page » sur le point de vue du développement technologique, la Compagnie du Métro de São paulo a voulu, à travers le transfert de ses connaissances, donner un support décisif aux autres réseaux brésiliens, comme ceux des villes de Rio de Janeiro, Recife, Porto Alegre, Belo Horizonte, Brasília actuellement en service, ainsi qu'à d'autres en phase de construction, comme Fortaleza et Salvador, et même à des métros d'autres villes de l'Amérique latine, comme Caracas et Medellín.

Cela ne fut possible que grâce à l'assimilation et au développement par ses administrateurs et techniciens, de toute la technologie nécessaire pour le financement de son implantation, le planning, la construction et l'exploitation de son réseau. En outre, ses anciens fonctionnaires se transfèrent presque toujours à d'autres compagnies publiques et privées, non seulement à São Paulo, mais un peu partout au Brésil, pour l'implantation de projets innovateurs, comme, par exemple, dans la Compagnie Municipale des Transports de São Paulo, dans la Compagnie des trains de banlieue (CPTM), et dans bien d'autres avec qui elle maintient des programmes de coopération technique et de transfert de technologie.

Les accords de coopération technique du Métro de São Paulo avec le secteur ferroviaire des pays d'Amérique latine, tendent à s'intensifier. Dans ce sens, la participation de la Compagnie dans des associations de transport public, joue un rôle très important. On peut mentionner l'ANTP (association brésilienne de transport public), ALAMYS – association latino-américaine et ibérique des métros et DAL - division latino-américaine de l'UITP. Finalement il faut rappeler qu'il y a plus de 10 ans, le Métro de São Paulo participe, à travers un accord de coopération mutuelle, d'un comité de dix réseaux, le COMET, qui réunit les métros de Berlin, Hong-Kong, Londres, Mexique, New York, Paris, São Paulo, Tokyo, Madrid et Moscou, pour des études de "benchmarking", coordonnées par l'Université de Londres (RTSC).

Le modèle innovateur du financement, ainsi que le projet, l'implantation et la concession de l'exploitation de la ligne 4-Jaune du Métro de São Paulo, sont suivis avec attention par tous les réseaux brésiliens et même latino-américains. Les directives de la Banque Mondiale et les différentes études effectuées par des ingénieurs-conseils spécialisés, ainsi que par quelques investisseurs, ont créé un nouveau modèle de financement et ont forcé l'optimisation des coûts du projet, ce qui se transformera sûrement, en cas de succès, en un exemple futur à être suivi.

## 2 LE BESOIN D'OPTIMISER LES COÛTS

L'optimisation des coûts, aussi bien pour l'implantation que pour l'exploitation et l'entretien des métros, est devenue un impératif,

face à la pénurie des ressources publiques nécessaires pour le secteur et vue la difficulté croissante pour les obtenir. Les métros sont des projets importants pour les grandes métropoles et ils apportent d'énormes bénéfices sociaux à la vie urbaine et à la société en général, mais ils sont chers à construire et à exploiter. C'est pourtant la solution de transport la plus économique pour les couloirs de grandes dessertes, principalement quand on estime le coût, au long du cycle de vie utile du projet.

Vue leur capacité de transport, les systèmes sur rails sont des infrastructures lourdes et complexes, qui demandent des ressources financières importantes. La plupart des métros en service ont été financés directement par le pouvoir public, mais actuellement il est très difficile d'obtenir les fonds nécessaires. Et, bien qu'il y ait une tendance pour une participation de l'initiative privée dans les financements, la décision de construire un système de métro obéira toujours à des décisions d'ordre politique.

Comment financer le coût élevé de la construction, exploitation, entretien et renouvellements, est donc la question commune à presque tous les réseaux. L'opinion générale est que les métros peuvent rarement être financés par eux-mêmes. Le problème des métros qui ne comptent que sur le support financier des fonds publics, est l'instabilité de la continuité de ces fonds. Il est donc difficile d'organiser à long - terme les investissements et de maintenir des moyens soutenable pour l'entretien et les renouvellements essentiels à la garantie de la qualité de service.

Peu de métros couvrent leur coût de services à travers le revenu du prix des billets.

Cette tendance a besoin d'être invertie pour éviter une spirale de déclin dans la qualité de service. En outre, les métros sont sous une pression croissante pour réduire le subside financier des Gouvernements. Ceux-ci exigent que les entreprises réduisent leurs coûts, tout en prévenant des augmentations dans les prix des billets et exigent, en parallèle, l'amélioration des niveaux du service, ce qui est impossible d'atteindre sans une efficacité substantielle, souvent irréaliste. Pouvoir réduire les coûts des systèmes d'un métro à des niveaux acceptables, est donc une mesure fondamentale et prioritaire pour toute ville qui planifie l'implantation d'une ligne. Pour atteindre ces objectifs, la technologie s'avère comme un outil puissant qui agit sur la

planification, la construction, l'exploitation et l'entretien des lignes.

L'ingénierie et la technologie ont renouvelé et modernisé, durant ces dernières décades, leurs méthodes, processus, systèmes et équipement, permettant une optimisation des investissements et une meilleure performance de l'exploitation des métros, avec une élévation substantielle de la qualité du service à des meilleurs coûts.

La ligne 4 du Métro de São Paulo, en cours d'implantation, est un exemple de cet effort que les responsables du projet ont entrepris, pour viabiliser un financement provenant de la Banque Mondiale, du Gouvernement de l'État de São Paulo et aussi du secteur privé, à travers la concession des services.

### 3 LES COÛTS D'UN METRO

Le coût d'un métro comprend, au long de son cycle de vie utile, plusieurs éléments, à savoir:

- coût d'implantation et construction qui inclut:
  - Projet, expropriations et renouvellement urbain
  - Ouvrages (voie, tunnels, stations, terminus d'intégration, finition)
  - Matériel Roulant
  - Systèmes et équipements fixes
- Coût de financement
- Coût opérationnel (exploitation et entretien)
- Coût de renouvellement au long de la vie utile

La Distribution relative des coûts d'une ligne de métro (Henry/Kühn, 1996) est, en moyenne, la suivante:

➤ Construction civile	45 %
➤ Matériel Roulant	30 %
➤ Expropriations	10 %
➤ Équipement fixe et Systèmes	8 %
➤ Renouvellement urbain	4 %
➤ Projet d'Ingénierie	3 %

Il faut rappeler que les possibilités de réduction du coût existent dans toutes les phases du projet. Pour établir des comparaisons entre métros, il est nécessaire d'effectuer une analyse exacte des coûts de construction, qui est une tâche des plus difficiles, vu qu'elle dépend d'une série de facteurs, incluant l'offre et la qualité du service à garantir pour le système, les expropriations nécessaires imposées par le tracé, les méthodes constructives adoptées, les difficultés de construction, les barrières

naturelles, la géologie du sol, la profondeur de la ligne, le nombre, caractéristiques et dimension des stations, la technologie et le matériel choisi, l'infrastructure du pays où le projet est inséré, les coûts de construction et du matériel y compris les impôts, le modèle de financement adopté, le change de monnaie à l'époque, etc.

L'évaluation d'un coût de métro ne peut donc être faite d'une manière précise qu'à travers le coût analysé durant toute la vie utile du Projet. Un benchmarking entre métros, pour évaluer les meilleures pratiques quant à la réduction des coûts de construction, des infrastructures, du matériel roulant, de l'exploitation et de l'entretien, ne peut être valable que dans une évaluation basée sur ce cycle de vie.

Les métros lourds ont un coût d'implantation qui varie entre 70 millions de dollars à 200 millions par km de ligne, y compris construction, matériels et systèmes. Les métros légers, ont un coût d'implantation par km qui varie de 10 millions à 50 millions de dollars, dépendant du niveau de ségrégation et de l'offre de transport prévue.

La Ligne 1-Bleue (sans l'extension Nord) du Métro de São Paulo, a coûté 3.000 million de dollars, soit 150 million de dollars par km. La ligne 2 - Verte, a coûté 1.400 millions de dollars, soit 190 million par km. La Ligne 3 - Rouge a coûté 3.500 millions de dollars, soit 160 million par km. Il faut rappeler que ces lignes ont inclus des travaux importants, complémentaires au système, comme la construction de terminus d'intégration, canalisation de ruisseaux, mise en oeuvre de routes publiques, etc. En outre, elles ont été construites à des époques différentes, avec des différences pour les coûts des composants, pour les valeurs monétaires financières (sans oublier la dépréciation durant la période) et pour les taux d'échange.

La Ligne 5-Lilas, de Capão Rondo au Largo Treze, avec 8,4 km d'extension et 6 stations, a coûté 486,6 millions de dollars, soit 60 million par km. Il faut considérer que grande partie du tronçon est en élévation et que seulement une partie des rames et systèmes prévus, pour l'opération de la ligne, ont été acquis.

La Ligne 4-Jaune du Métro de São Paulo, avec 12,8 kilomètres d'extension, reliant le quartier de Luz à Vila Sônia (région Ouest), a un coût total estimé à 1.262 million de dollars, pour la première phase, soit 110 million par km, y

compris les coûts de construction et expropriations, matériel roulant et équipement fixe. La nouvelle ligne devra compter avec la participation de l'initiative privée, en un régime de concession de l'exploitation pour 30 années.

#### 4 COÛTS D'IMPLANTATION ET CONSTRUCTION

Dans les coûts d'implantation et construction d'un métro, un élément fondamental à considérer est le choix des méthodes constructives de la ligne. Dans cette définition, on prend en considération plusieurs éléments à suivre, comme la non détérioration des espaces publics, un minimum d'agression à l'environnement et un dégât minimum à la population. Les différentes technologies constructives disponibles sont analysées, leurs conditions idéales d'application, l'impact sur l'environnement et le respect à l'usage et occupation du sol. La solution choisie est celle qui présente le meilleur rapport coût x bénéfice et qui garantit la fiabilité et sécurité du système.

La construction d'une ligne de métro peut se faire en surface, en élévation et en souterrain. Les méthodes en surface et en élévation, causent un grand impact dans le paysage urbain, principalement dans les régions avec une dense occupation, et ne sont convenables que pour les vides urbains, les zones spécifiées par une législation déterminée ou bien les couloirs au centre de larges avenues, ou tout au long de rivières ou d'autoroutes. En outre, il est souvent nécessaire dans les constructions en surface et en élévation, des investissements importants, pour les expropriations et pour le renouvellement urbanistique de la ville aux environs de la ligne.

#### 5 LES COÛTS DU PERSONNEL

Les entreprises de transport en général et les opérateurs de métros en particulier, affrontés avec le besoin de réduire leurs coûts et obtenir un revenu raisonnable sur les investissements, cherchent des solutions innovatrices en matière de gestion. Deux facteurs sont prédominants dans les coûts opérationnels d'un métro (exploitation et entretien): les coûts du personnel et les coûts de l'énergie.

Les coûts qui proviennent du personnel dépendent en grande partie de la structure organisationnelle, mais aussi du niveau de service requis, des processus employés et de la technologie appliquée. Comme, en termes de

coûts, les dépenses du "personnel" sont les plus importantes, les entreprises essaient de les réduire, par des changements dans certaines pratiques traditionnelles et par l'application de nouvelles technologies.

Les changements structurels sont habituellement le résultat de l'équilibre entre la dynamique des entreprises et les intérêts syndicaux. Bien que ces deux forces puissent présenter un conflit temporaire, elles ne sont nécessairement pas contradictoires à long terme. On vérifie une tendance à la sous-traitance de petits services spécialisés, tel que le nettoyage et, dans quelques métros, de la vente de billets et une partie de la sécurité publique. L'exploitant préfère garder cependant, le contrôle de la sécurité opérationnelle, sauf en cas de concession totale de l'exploitation. Dans les services d'entretien, les sous-traitances de certains services semblent inévitables. L'entretien de certains matériels est fait par les propres fournisseurs, ce qui permet la substitution, de temps en temps, de quelques composants par d'autres avec une technologie plus avancée et plus efficace.

Quant au personnel, les entreprises de transport et en particulier les métros ont adopté, ces dernières années, des solutions technologiques qui réduisent considérablement le personnel nécessaire pour les fonctions de routine, avec un impact plus ou moins grand dans les cadres opérationnels. Quant aux professions liées à l'exploitation, les propres entreprises, pour répondre à leurs besoins, créent les professions nécessaires.

L'évolution technologique, le changement dans les conditions de prestation de services, et le niveau plus élevé des candidats pour emploi, offrent aux entreprises de nouvelles perspectives qui facilitent l'accès à des solutions de marché, avec une réduction de l'emploi de ressources propres, ce qui élargit cependant, la dépendance des fournisseurs.

Comme ressources technologiques, on peut mentionner:

- La Vidéo - surveillance
- La Télécommande des installations
- La Capture, la concentration et le traitement de l'information
- L'automatisation des systèmes de vente et de péage
- La sous-traitance de services dans le marché de entreprises spécialisées

- L'emploi de technologies de pointe pour les communications

Les accords avec des services externes, comme les services de la police, pompiers et services sanitaires réduisent la nécessité de ressources internes.

La vente de billets est un secteur qui s'est beaucoup développé. L'installation de distributeurs automatiques, le recours aux réseaux de commerce existants et la vente automatique (smartcard, internet, etc.) permettent la réduction du nombre des agents en station. Ceux-ci peuvent avoir d'autres tâches, comme l'information à la clientèle, la surveillance des installations et de l'équipement, la signalisation de défauts, etc..., ce qui permet d'élargir la valeur agrégée du service, sans augmenter le coût.

Il faut souligner que pour le renouvellement et la modernisation des systèmes, les entreprises plus anciennes adoptent de plus en plus des solutions schématisées et, de moins en moins des solutions d'adaptation propres. Les fournisseurs de leur côté, cherchent des alliances et le renouvellement de leurs entreprises, surtout dans le secteur de l'entretien. Naturellement les entreprises de "sous-traitance" le font parfois avec une logique industrielle et non pas avec une logique de prestation de services. Le contrôle rigoureux de leurs activités est donc fondamental.

Quant au personnel opérationnel il est soumis à de nouvelles fonctions qui ne sont pas limitées au contrôle de l'exploitation ou à l'assistance aux passagers ou à la vente des billets de transport. Des fonctions polyvalentes, y compris le contrôle et la télécommande des installations, le contrôle de la mobilité et le contrôle des activités externes au réseau sont des nouvelles activités importantes. Les fonctions des agents de station sont orientées, grâce à la technologie, vers la vidéo-surveillance et le contrôle à distance. Ils administrent les différents équipements liés au confort des usagers, comme la ventilation, les escaliers roulants, les ascenseurs, les distributeurs automatiques ou les équipements de contrôle d'accès. Ils agissent dans certaines tâches opérationnelles, comme la signalisation de commande à travers les centres locaux et assument le rôle du poste de contrôle central, en cas d'urgences.

Comme les nouvelles ressources technologiques ont profondément changé les méthodes de travail, certains postes de travail sont éliminés, à point de permettre la dispense

de personnel. Dans ces cas, les entreprises essaient de trouver des solutions pour le personnel excédant, par la création de nouvelles activités dans les services complémentaires, hors du « core business » de l'entreprise.

## 6 LES COÛTS DE L'ENERGIE

L'énergie électrique, pour la traction des trains, est un des éléments de l'exploitation les plus coûteux dans un métro. Les coûts de l'énergie dépendent en partie de la technologie adoptée. Les éléments de réduction de l'énergie consommée sont diverses, comme le choix approprié du tracé de la ligne et de la profondeur des stations, le synchronisme entre les accélérations et décélérations des trains, la régénération durant le freinage, entre autres mécanismes.

L'évolution de la technologie des inverseurs de puissance a permis l'adoption de redresseurs de puissance contrôlés, pour l'énergie des trains, ce qui permet l'optimisation de la consommation d'énergie, par le contrôle continu de la tension, la récupération de l'énergie (échange entre rames) et favorise la performance des trains avec, en conséquence, la réduction d'énergie. Elle permet aussi la rationalisation de la distance entre postes redresseurs, avec la réduction de leur nombre, ce qui réduit le coût des ouvrages et de l'entretien.

L'énergie électrique pour l'illumination et la force auxiliaire des stations, est un autre facteur de coût où la technologie peut agir. La recherche continue de solutions pour garantir une performance élevée, a conduit à l'adoption de la station dite «intelligente». Elle consiste à l'automatisation des processus opérationnels, ce qui permet de fournir à la station une infrastructure capable de la rendre flexible et fonctionnelle selon les besoins de l'exploitation.

À part la réduction du coût de l'énergie et de l'entretien, elle permet aux usagers une certaine autonomie, élève les niveaux de sécurité et optimise l'emploi des ressources humaines et matérielles. Le système de contrôle d'une station intelligente intègre les systèmes auxiliaires, comme le péage, les escaliers mécaniques, l'alimentation électrique de force, la surveillance, la détection d'incendie, la «multimédia», la ventilation, les pompes d'eau, la téléphonie, la radio-communication, etc.

## 7 ADOPTION DE L'AUTOMATISME INTEGRAL DANS L'OPERATION DU METRO

L'automatisme intégral permet la suppression du conducteur des trains. Celui-ci est ainsi libéré des tâches traditionnelles et peut se consacrer à d'autres fonctions, comme la surveillance du matériel roulant, les petites réparations en cas de défaut et l'assistance permanente aux usagers. Il apporte des améliorations dans la qualité du service, telles que:

- Une offre selon les besoins (p. ex., durant les événements spéciaux, fêtes, etc)
- Pour les usagers, un temps d'attente plus petit, durant les heures creuses, grâce à l'opération avec des tables horaires flexibles
- Une meilleure attention aux voyageurs avec un système d'information plus complet et une meilleure sécurité.
- Une meilleure connexion avec les autres modes de transport

Il a aussi d'autres avantages opérationnels pour l'exploitant comme:

- Une opération plus flexible (ajustable à la demande en temps réel)
- Peu d'employés pour les travaux routiniers
- Meilleure régularité du transport et de la sécurité opérationnelle
- Meilleur contact avec les usagers grâce à la disponibilité des employés qualifiés
- Meilleure fréquence des trains aux heures creuses et de pointe

Il présente aussi des avantages commerciaux pour l'entreprise, comme:

- Meilleure efficacité sans le besoin de plus d'employés opérationnels
  - La non dépendance du nombre d'employés en relation à la fluctuation de la demande
  - La réduction des coûts opérationnels
- Une plus grande capacité de transport avec le même nombre de rames et d'employés
- L'optimisation des coûts d'entretien, due aux diagnostics «on-line»
- Une plus grande disponibilité de service

Par le changement de la fréquence des rames selon le besoin, l'automatisme intégral est ainsi idéal pour adapter le service à la demande de voyageurs. Dans les systèmes totalement automatiques, une absence d'employés n'empêche pas l'exploitant d'utiliser toute la capacité du système. Aux heures de pointe, il est possible de mettre le maximum nombre de trains en service. Il permet aussi une fréquence des

rames qui soit commercialement attirante aux heures creuses.

Quant au service durant la transition entre les heures creuses et les périodes de pointe, il peut être planifié ou adapté en temps réel pour satisfaire aux besoins des usagers, sans avoir à considérer l'horaire de travail des agents. En outre, l'offre du service n'est pas affecté par l'absence ou le retard des agents, ni par des événements hors de l'habituel, comme les congés prolongés. Ainsi, des services spéciaux peuvent être fournis, sans le besoin d'agents supplémentaires, comme dans une finale de championnat ou commémoration.

Plusieurs exploitants à niveau international s'utilisent déjà ou ont tendance à appliquer l'automatisme intégral et il est prévu que dans les prochaines années que d'autres suivent ce chemin, aussi bien pour les nouvelles lignes de métro, comme pour la modernisation des lignes existantes. Une des raisons est que lorsqu'on considère le coût d'exploitation sous la perspective de cycle de vie (life cycle cost), les systèmes totalement automatiques présentent une plus grande économie d'énergie, un coût d'exploitation inférieur, à part la plus grande flexibilité opérationnelle.

## 8 ETUDE DE CAS : LIGNE 4 DU METRO DE SP – LE FINANCEMENT ET LA CONCESSION

Le projet de la Ligne 4-Jaune prévoit deux phases d'implantation, avec un total de 11 stations entre Luz et Vila Sônia. La première phase dont l'ouverture est prévue pour décembre 2008, prévoit la construction des 12,8 km de tunnels et de six stations complètes (les stations d'intégration - Luz, República, Paulista, Faria Lima, Pinheiros e Butantã) avec un coût estimé à US\$ 1.262 millions, soit US\$ 110 millions par km, incluant la construction, les expropriations, le matériel roulant (14 rames -chaque rame avec 6 voitures motorisées) et les équipements fixes. Cette phase inclut aussi l'implantation du dépôt d'entretien de Vila Sônia et les ouvrages bruts de trois stations intermédiaires (Fradique Coutinho, Oscar Freire et Higienópolis).

Le choix du tracé, les méthodes constructives, l'architecture des stations, le matériel roulant et l'équipement, tout a été conçu de sorte que les investissements soient minimisés. L'adoption de l'automatisme intégral pour la conduite des trains fait partie de cet effort, visant la réduction des coûts d'exploitation et sera décidée par le

concessionnaire. La ligne est prévue pour être exploitée par une entreprise privée, sous un régime de concession de 30 ans.

La deuxième phase inclut la finition des trois stations intermédiaires et la construction de deux autres stations (Morumbi et Vila Sônia) et prévoit 29 rames (chaque rame avec 6 voitures motorisées). Les investissements prévus sont de 1.262 million de dollars américains.

#### 8.1.1 *Phase I*

- Gouvernement de São Paulo 734 dollars américains
- Concessionnaire 184 dollars américains
- Total 918 dollars américains

#### 8.1.2 *Phase II*

- Gouvernement de São Paulo 188 dollars américains
- Concessionnaire 156 dollars américains
- Total 344 dollars américains

Composition des Investissements (Les valeurs et pourcentages indiqués ont été tirés de l'Étude de Viabilité Économique et Financière élaborée par le Métro de São Paulo)

#### 8.1.3 *Phase I*

##### 8.1.4 *Secteur Public*

- Gouvernement de São Paulo 21 %
- Banque Mondiale (BIRD) 16,6 %
- Banque JBIC (Japon) 16,6 %

##### 8.1.5 *Secteur Privé*

- Ressources propres 3,0 %
- Ressources de Tiers 16,9 %

#### 8.1.6 *Phase II*

##### 8.1.7 *Secteur Public*

- Gouvernement de São Paulo 4 %

##### 8.1.8 *Secteur Privé*

- Ressources propres 3,3 %
- Ressources de Tiers 18,6 %

La concession des services de la Ligne 4-Jaune du Métro, est pour un délai de 30 ans, sous un modèle du type Partenariat Public-Privé (PPP). L'appel d'offre est international et admet la participation d'entreprises brésiliennes ou étrangères, individuellement ou réunies en consortium. La performance des services du concessionnaire, sera évaluée par l'État à travers des indicateurs

opérationnels objectifs. Le tarif est défini par le Gouvernement de l'État, mais il est corrigé par un réajustement annuel qui suivra les tarifs publics moyens. Pour les recettes tarifaires, le concessionnaire retiendra 100 % du tarif pour voyageur exclusif et 50 % pour voyageur intégré à d'autres lignes de métro, autobus ou chemins de fer de banlieue. Les risques de la concession sont mitigés: pour la fréquence de voyageurs, par un mécanisme qui prévoit une bande de protection pour une variation supérieure à 20 %. Le risque de change sera couvert par le réajustement du tarif.

## 9 ÉTUDE DE CAS: LIGNE 4 DU METRO DE SP – L'OPTIMISATION DES COÛTS

Le projet de la ligne 4-Jaune du Métro de São Paulo est un exemple clair de l'effort que l'on peut accomplir dans toutes les phases du projet, pour optimiser les coûts d'implantation et d'exploitation d'un métro. Face aux difficultés de financement de la ligne dont le coût initial était estimé à 2 milliards de dollar, les équipes techniques de la Compagnie se sont efforcées pour réduire d'une manière expressive ce coût. L'ingénierie du Métro a amélioré ses techniques dans le choix du tracé, la détermination du nombre de stations et l'emplacement des accès. Pour les méthodes constructives et la conception opérationnelle, on a cherché à optimiser et réduire les coûts d'implantation et d'opération et permettre ainsi un modèle de financement qui prévoit la concession à l'initiative privée de l'exploitation de la ligne.

Pour la construction, l'ingénierie a développé des technologies avec de nouvelles méthodes d'excavation de tunnels et construction des stations, qui permettent une diminution substantielle des coûts. La technologie a aussi été décisive dans la réduction des coûts dans les investissements du matériel roulant et des systèmes essentiels à l'exploitation d'un métro nécessaires à l'offre de transport prévue.

Une décision importante a été prise, pour optimiser les méthodes constructives, celle de construire les tunnels par des méthodes non destructrices, afin de réduire les coûts des expropriations et du remaniement des interférences. Avec la libération de la circulation durant les ouvrages, les embouteillages sont évités ce qui améliore la mobilité et réduit la consommation des combustibles.

## 10 CONCLUSION

Quant à la réduction des coûts dans les ouvrages, les modifications les plus considérables furent la substitution des deux tunnels jumeaux par un seul tunnel à double voie, et la réduction du diamètre interne de 10,19 m à 8,43, possible par la réduction de la distance entre les voies à 3,75 m au lieu des 4,5 m précédemment prévus. Les actuelles directives des systèmes de la Ligne 4-Jaune présentent des innovations opérationnelles importantes qui visent la réduction des coûts. L'adoption du gabarit universel de 1435 mm au lieu du gabarit de 1.600 m utilisé dans les autres lignes, permet l'acquisition d'un matériel roulant et un aiguillage dont les composants et accessoires sont facilement disponibles dans le marché international. Une autre mesure a été l'élimination des plates-formes d'évacuation d'urgence, tout au long du tunnel, adoptés dans les autres lignes. En cas d'urgence, les usagers seront évacués par la voie munie de signalisation de sortie et d'escaliers à chaque 500m.

D'autres mesures ont été prises pour permettre la réduction des coûts, comme la réduction de la largeur des rames pour passer dans des tunnels plus petits, la substitution du troisième rail d'alimentation de l'énergie, par une caténaire rigide au plafond du tunnel. La tension choisie pour l'alimentation électrique a pu alors passer de 750 V à 1.500 V, permettant ainsi une réduction du nombre de postes redresseurs. Une sous-station électrique à chaque deux stations serait suffisante à la place d'une à chaque station.

Les nouveaux systèmes de signalisation permettent de réduire au minimum, avec une sécurité absolue, l'intervalle entre rames (moins de 90 sec) sans réduire la vitesse des trains, ce qui permet une plus grande offre de transport, avec des stations plus petites et par conséquent un coût inférieur. Dans l'énergie, l'adoption d'inverseurs dans les postes redresseurs réduit le nombre de ces postes. On envisage aussi la possibilité de l'adoption par le concessionnaire, de l'automatisme intégral dans la circulation des trains, technologie déjà disponible, et qui contribue à la réduction des coûts de l'implantation et de l'exploitation. Cette décision a été prise par le Métro de São Paulo vu aussi du fait que les systèmes et matériels spécifiés pour la Ligne 4 permettent déjà l'adoption de l'automatisme intégral, indépendamment de la décision d'éliminer le conducteur, sans augmenter les coûts en relation à l'opération conventionnelle.

Les ressources publiques nécessaires pour l'implantation et l'exploitation d'une ligne de métro sont importantes et de plus en plus difficiles à obtenir, face à la pénurie croissante de ces ressources. L'optimisation des coûts, aussi bien pour l'implantation que pour l'opération et l'entretien des systèmes, deviennent par conséquent, un impératif pressant. Pour cela il est nécessaire de réduire substantiellement les coûts d'investissements, ce qui est possible grâce à un bon planning du projet, un tracé des lignes optimisé, des méthodes de construction adéquates, un matériel roulant et des systèmes bien dimensionnés et un modèle de financement sûr et solide.

La technologie a un rôle très important à jouer, principalement pour l'exploitation, l'entretien et le renouvellement des systèmes. L'actualisation d'une ligne, face à l'obsolescence de certains matériels ou composants, mène obligatoirement à l'application de nouvelles technologies. Les techniques modernes et l'automation permettent l'optimisation des coûts d'exploitation. Les outils disponibles sont le télé contrôle, le dispatching automatique des trains, la signalisation, la gérance de l'énergie, l'automation des services administratifs, la vente automatique des billets, le contrôle du péage, la vidéosurveillance, la télé information et plus récemment l'automation intégrale de la conduite. La technologie n'est cependant pas la seule voie pour que les réseaux soient efficaces et compétitifs, tout en garantissant la sécurité et la qualité du service. La redéfinition des fonctions courantes du personnel opérationnel et de l'entretien, ainsi que l'adoption d'agents polyvalents, avec l'élargissement de leurs responsabilités, la sous-traitance de quelques services, ainsi que le leasing de certains matériels, sont quelques voies à suivre.

Il n'y a pas de conclusions ni des solutions définitives. On ne peut parler que de tendances. Chaque entreprise a ses particularités, sa tradition, sa culture, sa législation et ses engagements syndicaux. Ce qui est élément de succès pour les uns, peut ne pas l'être pour d'autres. Une chose cependant est définitive: l'optimisation des coûts avec des solutions innovatrices et courageuses, sont toujours nécessaires.

L'exemple de la ligne 4-Jaune du Métro de São Paulo présente deux aspects importants et inédits qui sont à retenir: d'une part son financement, d'autre

part l'effort qui a été fait pour réduire ses coûts. C'est le premier projet brésilien avec un modèle PPP - partenariat public-privé, (public pour grande partie de sa construction et privé pour son exploitation et l'acquisition du matériel roulant), mais aussi c'est la première ligne de métro au monde qui reçoit un appui financier important de la Banque mondiale et de L'Eximbank du Japon.

C'est encore la première ligne de métro brésilien à avoir son projet étudié et analysé par différents bureaux d'études, incluant des ingénieurs-conseils indiqués par la Banque Mondiale et d'autres groupes d'investisseurs, avec l'objectif défini, d'optimiser ses coûts. Elle pourrait donc se constituer en un cas d'étude pour une coopération décentralisée, entre les différentes métropoles brésiliennes et même latino-américaines. Le Métro de São paulo qui maintient des accords de coopération avec tous les réseaux brésiliens et même latino-américains, pourrait facilement transférer ses connaissances et sa technologie, passant son apprentissage acquis grâce à l'implantation de la ligne 4, aux métros de Rio de Janeiro, Porto Alegre et Belo Horizonte qui prévoient l'expansion de leur réseau et aux métros de Fortaleza et Salvador, en début de construction.

Le succès de la ligne 4-Jaune du Métro de São Paulo la rendra, dans les années prochaines, une source où d'autres réseaux pourraient s'inspirer.

Federal Transit Administration - "Fixed guideway capital costs" - 1994

Decio Tambelli - « Expansão do Metrô de São Paulo » - ALAMYS - Medellin – Nov 2005

## 11 BIBLIOGRAPHIE

Alouche, Peter – « Otimização dos Investimentos e Redução dos Custos Operacionais dos Metrôs » - 15. Congrès Brésilien Transport de l'ANTP – Vitória - 2005

Rapport Technique de la Companhia do Metrô de São Paulo « sistemas driveless e a Linha Amarela » préparé par les départements de planning, projet, operation et entretien de la Compagnie - 2004

Rapport Technique de la Companhia do Metrô de São Paulo « Linha 4 Amarela Premissas Do Projeto Básico Avançado » – 2002

World Bank – Urban Transport Strategy Review – « Review of french Experience in Private Financing of Public Urban Transpor » Booz-Allen Sofretu & Melte - 1994

Etienne Henry - CODATU - Revista da ANTP N. 70 - 1996

Retour Session