

Les potentialités du système Transmilenio de bus en site propre de Bogotá en Colombie

Jean Paul LERIVEREND

CGEA-Connex - France

ABSTRACT : Transmilenio system consists of 41 km of reserved bus way with 2 ways in each direction, 59 closed stations, 470 articulated bus of 18 m long and 220 standard feeder buses of connection stations. That is the most impressive bus system in the world. Its performances are equivalent to a heavy metro with 29 000 passengers per hour and per direction and 635 000 passengers per weekday.

The average investment cost per kilometre of Transmilenio system is about 5.6 M.US\$ a tenth of that of a line of a standard metro, and them operation costs are half.

RESUME : Le système Transmilenio comporte 41 km de site propre bus à 2 voies par sens, 59 stations fermées, 470 bus articulés de 18 m et 220 bus standard d'alimentation des stations de correspondance. C'est le système de bus le plus performant du monde, ses performances sont équivalentes à celles d'un métro lourd avec 29 000 voyageurs par heure et par sens et 635 000 passagers par jour de semaine.

Le coût d'investissement moyen au kilomètre du système Transmilenio est de 5.6 M.US\$, soit le dixième de celui d'une ligne de métro classique et les coûts d'exploitation sont de la moitié.

L'historique du projet

L'agglomération de Bogotá compte plus de 8 millions d'habitants et les transports publics assurent plus de 70% des déplacements motorisés des habitants au moyen de 20 000 bus de tous types. Enrique Penalosa, élu maire de Bogota pour 4 ans aux élections municipales de 1996 s'était engagé à moderniser et à améliorer considérablement le système de transport public pendant son mandat.

Enrique Penalosa a respecté cet engagement puisqu'une première phase d'un nouveau système de transport nommé Transmilenio a été mis en exploitation commerciale le 15 janvier 2001 sur 16 km avec 85 autobus articulés qui transportaient courant mars 300 000 voyageurs par jour, le jour le plus chargé de la semaine. Ceci a été possible grâce au choix de la technique des sites propres bus qui limitait l'importance des travaux à réaliser.

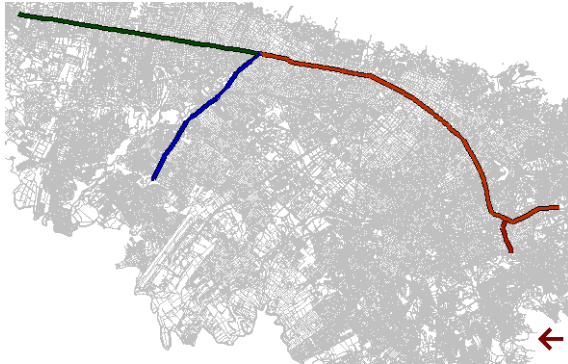
Les grands principes du système Transmilenio

Ce projet global de 41 km de site propre bus répartis sur 3 corridors utilise :

- 2 chaussées de 7 mètres de largeur (une par sens) totalement réservées aux bus,
- 470 bus articulés de 18 mètres de longueur, équipés de 4 portes à gauche et à plancher haut et plan (93 cm). Ces bus sont répartis entre 4 opérateurs et 4 dépôts,
- 55 stations centrales de 4.3 mètres de largeur maximum et à 1, 2 ou 3 quais indépendants de chaque coté de la station. Ces stations sont fermées et équipées de portes palières commandées par les conducteurs des autobus,
- 4 stations fermées de correspondance, aux terminus des 4 branches du site propre, desservies par 220 bus de rabattement répartis sur environ 30 lignes,
- Des tourniquets de type métro sont situés aux deux extrémités des stations pour contrôler les entrées et les sorties des voyageurs.

Le niveau de sécurité du système est très élevé et la fraude est impossible. La qualité du service est également très élevée avec au moins un bus à quai

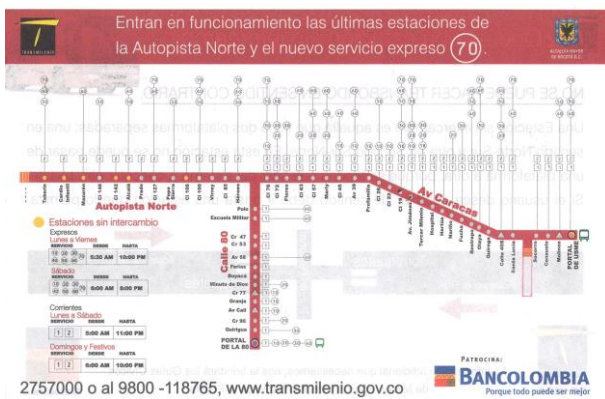
chaque minute. Les vitesses commerciales des 2 lignes d'omnibus sont respectivement de 22 et de 24 km/h et celles des 7 lignes express sont comprises entre 27 et 32 km/h.



Le schéma ci-dessus présente le plan du réseau des 41 km de voies bus en site propre en cours de mise en exploitation



Manœuvre des autobus pour accéder à la station Calle 76 le lundi 11 février à l'heure de pointe du matin



Le schéma ci dessus présente le principe d'organisation des lignes et les stations desservies par chaque ligne

L'état actuel du système

Fin février 2002, le système Transmilenio exploitait les 41 km de site propre, 437 bus articulés, 55 stations centrales et 4 stations de correspondance. Il transportait plus de 29 000 voyageurs par heure et par sens, avec 220 bus par heure et par sens à l'heure de pointe du matin et 635 000 voyageurs par jour, le jour le plus chargé de la semaine, avec une pointe à 715 000 voyageurs/j.

Comme tout système, le mode d'exploitation actuel par bus indépendants du système Transmilenio comporte une limite de capacité et les premiers signes de saturation sont apparus fin février, lors des manœuvres de mise à quai des autobus, au droit de la station Calle 76



L'intégration totale du système avec les 470 bus articulés, les 220 bus de rabattement et l'intégration des services interurbains est prévue pour la fin mai 2002.

Le trafic attendu sera alors de 36 000 voyageurs par heure et par sens à l'heure de pointe du matin et de 750 à 800 000 voyageurs par jour ce qui nécessitera probablement de remplacer le mode d'exploitation actuel par une circulation des bus en paquets.

Quelques chiffres pour comparer les niveaux de trafic					
Systèmes de transport lourd de Paris			Système Transmilenio de Bogota		
	Trafic par heure et par sens	Trafic par jour		Trafic par heure et par sens	Trafic par jour
Métro ligne 1	18 800	488 000	TM mai 2001	15 500	370 000
Métro ligne 2	19 000	464 000	TM fev. 2002	29 000	635 000
RER ligne A	57 500	915 000	TM objectif	36 000	800 000

Les coûts d'un tel système

Le système Transmilenio n'est comparable avec aucun autre système de bus mais seulement avec des métros lourds ou même des systèmes du type RER de Paris (voir tableau ci-dessus).

Le coût global de réalisation des infrastructures de voirie, des stations courantes, des stations de correspondances, des dépôts et des divers aménagements de voirie induits est en moyenne de 152 M US \$ sur la première phase du réseau de 41 km soit 3,75 M US \$ du km de site propre bus. Le coût des 470 bus nécessaires à cette exploitation est de 75 M US \$.

Le coût global de la première tranche du système est donc de 229 M US \$, soit 5,6 M US \$ / km, ce qui correspond à 10% du coût d'un système de métro traditionnel et à environ 5% de celui d'un métro lourd offrant des capacités équivalentes.

Le coût d'exploitation hors maintenance des chaussées et des structures des stations est d'environ 50% de celui d'un métro.

Les principes de la gestion déléguée organisée par Transmilenio

Il est à noter que les recettes commerciales du système Transmilenio équilibrent les coûts d'exploitation et que ce système est exploité dans le cadre de contrats privés de type concession (risque financier sur l'investissement, risque industriel sur l'exploitation des autobus ou du système de billettique et risque commercial sur les recettes).

Ces contrats ont été attribués à la suite d'appels d'offres publics, ils concernent :

- La fourniture, la maintenance et l'exploitation pendant 10 ans des 470 bus articulés répartis en 4 lots de 90, 100, 120 et 160 bus. Ces 4 opérateurs se partagent actuellement 70% des recettes du système en fonction des kilomètres effectués par chaque opérateur et du prix kilométrique de son offre. A terme, leur part des recettes sera de 61 à 63%.
- La fourniture, la maintenance et l'exploitation pendant 5 ans des 220 bus standards des lignes d'alimentation répartis en 4 lots de 63, 55, 40 et 62 bus. Ces 4 opérateurs se partagent actuellement 16% des recettes du système, avec un plafond fixé à 20%. Ces prestations sont rémunérées 200 pesos par voyageur transporté. Le nombre de voyageurs est contrôlé à l'entrée des stations de correspondance.

- La fourniture, la maintenance et l'exploitation pendant 10 ans du système de billettique y compris la vente des titres de transport. Cette

prestation correspond contractuellement à 11% des recettes du système.

- La répartition des recettes commerciales entre les différents prestataires qui est assurée par un établissement financier suite à un appel d'offres, elle coûte 0.05% des recettes du système

Transmilenio prélève actuellement 3% des recettes du système pour assurer la maintenance des stations, des chaussées et du système d'aide à l'exploitation (SAE), mais ce prélèvement peut être contractuellement augmenté jusqu'à 7%.

Le prix du voyage est de 900 pesos, il est régulièrement actualisé et de nombreuses formules économiques sont prévues dans les contrats pour tenir compte de l'évolution des coûts. Les prestations des différents opérateurs sont définies et contrôlées par Transmilenio au moyen du SAE, des informations sur le trafic provenant de la billettique et de nombreux contrôleurs.

Les perspectives

Le système Transmilenio est extrêmement bien accueilli par l'opinion publique et le succès commercial est tel que les autorités politiques locales ont renoncé au projet de métro pour étendre ce nouveau système de transport à toute l'agglomération de Bogotá.

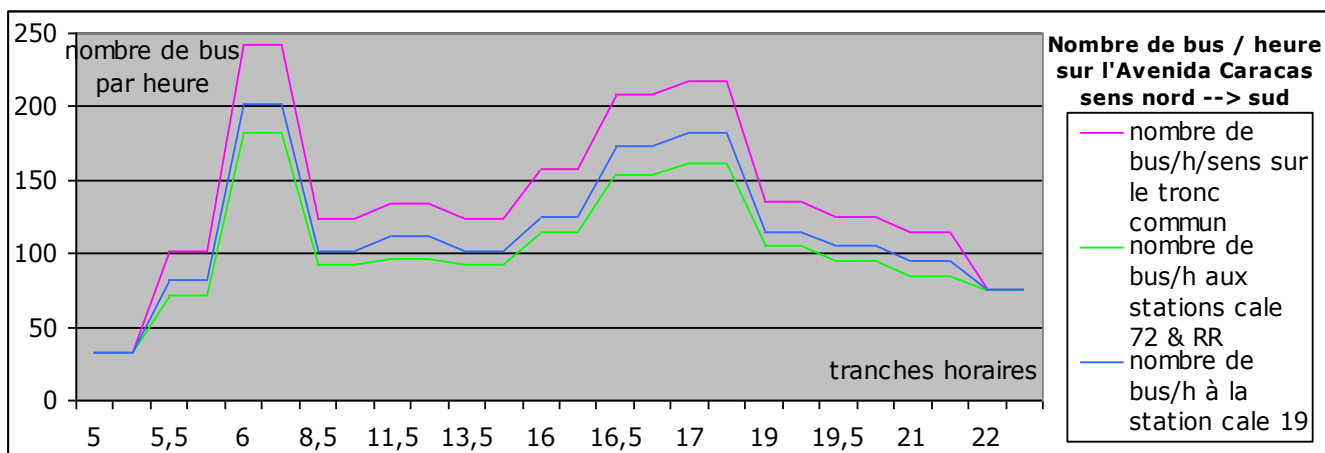
Avant même l'achèvement de l'intégration des trois corridors de la première phase, prévue pour mai 2002, les élus de Bogotá ont lancé les premiers travaux d'une deuxième phase de trois nouveaux corridors (Américas, Suba et Norté-Quito-Sur) Un appel d'offre d'exploitation comportant trois lots pour un total de 450 bus articulés sera lancé mi 2002 pour une mise en exploitation au deuxième semestre 2003.

L'actualisation des études de trafic effectuées dans la perspective de cette deuxième phase montre que le trafic sur l'Avenida Caracas qui est aujourd'hui par heure et par sens de 29 000 voyageurs et de 220 bus s'élèverait à 48 000 voyageurs et environ 360 bus par heure et par sens, largement supérieur à la limite de capacité du système exploité par bus indépendants.

De plus, il est à noter que le programme global Transmilenio prévoit la réalisation de 7 corridors et

de 110 km de site propre desservis par 1200 bus articulés.

associée à un tarif unique relativement bas qui permet d'attirer toutes les catégories sociales.



Les performances et les limites du système

il existe de par le monde de nombreux systèmes de transport par bus en site propre notamment au Brésil et certains sont équipés de stations surélevées et même fermées comme Goiânia avec 250 à 300 000 voyageurs / jour, Curitiba ou Sao Paulo.

Le projet de Bogotá a repris ces mêmes principes en les optimisant, en repoussant encore plus loin les limites techniques des systèmes de bus en site propre pour atteindre et même dépasser les capacités des plus grosses lignes de métro du monde.

Les performances exceptionnelles de ce système à la mi-février étaient de 635 000 voyageurs par jour et 29 000 voyageurs par heure et par sens pour 430 bus en opération et 220 bus par heure et par sens sur le tronçon commun de l'Avenida Caracas. Ces performances exceptionnelles reposent principalement sur les 4 options techniques suivantes :

- Un site propre bus utilisant deux chaussées en sens unique de deux voies par sens pour permettre aux autobus de se doubler et ainsi de pouvoir exploiter simultanément des lignes express et des lignes omnibus tout en maintenant des carrefours gérés par feux,
- Des stations centrales fermées situées entre les deux chaussées bus, avec le péage organisé aux entrées situées aux extrémités des stations, pour minimiser les temps des échanges passagers. Ces stations disposent de 1,2 ou 3 quais indépendants, distants de 54 m pour permettre toutes les manœuvres d'entrées et de sorties des autobus avec un bus à quai et un autre en attente,
- Des stations d'échanges et de retournement aux extrémités des lignes qui sont également fermées, rendant la fraude impossible, compte tenu du type de tarification,
- Une très haute qualité de service dans tous les domaines (vitesse, propreté, bruit, pollution, confort, ambiance), équivalente à celle d'un métro moderne,



Le trafic à l'heure de pointe du matin dans la station de correspondance de la Calle 80 est de 11 000 voyageurs/h transportés par 110 bus articulés et 150 bus de rabattement par heure



Aspect intérieur d'une station centrale. Le trafic à l'heure de pointe du matin de la station Calle 76, la principale station du réseau, est de plus de 7000 voyageurs par heure

La saturation d'un tel système peut avoir 4 origines :

La mise à quai des bus. Le mode d'exploitation actuel repose sur une circulation indépendante de tous les autobus, mais cadencée par les feux des carrefours, qui de ce fait arrivent en paquets désordonnés dans les stations. Cette arrivée des autobus en paquets produit un véritable chassé croisé spectaculaire des autobus pour leur mise à quai qui démontre la très grande habileté des conducteurs mais aussi la fragilité du système.

A ce jour, avec 220 bus par heure ce mode d'exploitation atteint ses limites, les vitesses commerciales ont baissé et le système demeure fluide grâce à la très grande compétence des conducteurs.

Toute augmentation même faible, du nombre d'autobus en circulation ou du temps des échanges passagers du à une augmentation du trafic va conduire à la saturation et au blocage du système (comme la circulation sur autoroute). Ce problème de circulation saturée va se produire sur le tronc commun, au droit des 5 ou 6 principales stations du réseau (Calle 76, Calle 72, Calle 19, Flores, Jiménez...). Par contre ce mode d'exploitation est très pertinent sur les différentes branches du réseau ou le risque de saturation est encore très éloigné.

La capacité des tourniquets aux entrées des stations. Ce problème se pose déjà à l'heure de pointe du soir aux principales stations de centre ville, à cause de la lenteur des transactions du système actuel (environ 10 à 15 transactions / minute) et du faible nombre de machines vu la place disponible (3+1 handicapés) à chaque extrémité des stations soit environ 3600 voyageurs par heure et par station. La réalisation de passerelles donnant accès à une salle de contrôle et de vente sur le toit des principales stations du centre et l'optimisation du système de péage devrait résoudre ces problèmes pour atteindre une capacité d'environ 10 000 passagers / heure.

La capacité d'attente et d'échange dans les stations Cette capacité peut être évaluée à 11 000 voyageurs au maximum par heure sur la base de 2 personnes / m². Toutefois, l'arrivée irrégulière des bus et plusieurs destinations desservies par un même quai produisent des attentes d'une partie de la clientèle dans les zones d'embarquement qui perturbent les échanges passagers des bus à quai. La capacité des grandes stations (Calle 19, 72, 76, Flores, Jiménez, Tercer-Milenio...) est ainsi réduite de 20 à 30% limitant leur capacité réelle à un maximum de 8 à 9 000 voyageurs par heure.

La capacité routière des chaussées réservées aux autobus Avenida Caracas. Le trafic actuel sur l'Avenida Caracas, le tronc commun du réseau, est de 220 bus articulés de 18 m par heure avec des cycles de feux de 120 secondes et la capacité

théorique est d'environ 420 bus / heure avec des cycles de 60 secondes. Il est à noter que le trafic, sur le site propre bus à deux fois deux voies qui existait déjà sur l'Avenida Caracas avant Transmilenio, était de 470 bus conventionnels par heure et par sens.

Changer de technique d'exploitation pour éviter la saturation

Pour résoudre ces problèmes de saturation, réduire le stress et le risque de collision pour les conducteurs et repousser très loin la limite de capacité du système. Nous proposons de faire circuler des paquets de 2 ou 3 bus express et de 2 ou 3 omnibus toutes les minutes sur le tronc commun de l'Avenida Caracas (entre Jiménez et Calle 76) tout en maintenant une circulation indépendante des autobus hors du tronc commun.

Cette technique d'exploitation nécessiterait :

- ❑ De coordonner les heures d'arrivées des autobus d'un même paquet à leur point de rendez-vous. Ceci est possible grâce aux statistiques d'exploitation et au SAE spécialement programmé pour cette fonction (coordination des départs des terminus et gestion précise des avances-retards en ligne).
- ❑ De créer deux points de rendez-vous des autobus pour les ranger dans les paquets dans un ordre prédéfini (ordre des lignes) afin de toujours placer une même ligne sur un même quai. Le point de rendez-vous des autobus venant de sud serait situé immédiatement au sud de la station Jiménez et le point de rendez-vous des autobus venant de nord serait situé immédiatement au nord de la station Calle 76.



Bus articulés dans le site propre bus à deux voies par sens au droit d'une station accessible par une passerelle



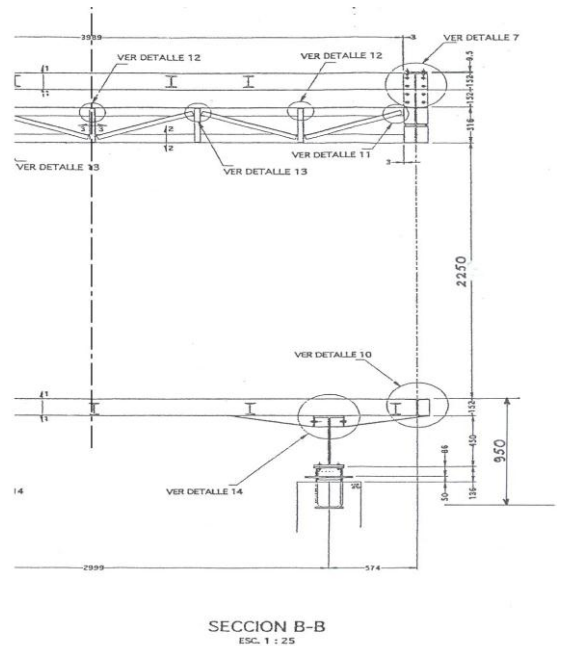
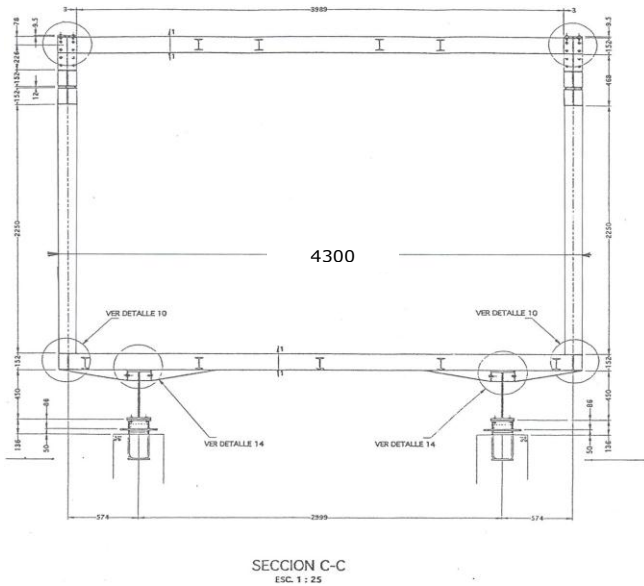
Cette technique de gestion du trafic associée à la création de mezzanines et de passerelles sur les principales stations pour augmenter les capacités du système de péage devrait permettre de doubler le trafic pour atteindre environ 60 000 voyageurs / heure et par sens et plus d'un million de voyageurs par jour.

Il est à noter que cette adaptation du système serait très limitée puisqu'elle nécessiterait :

- ❑ la création de deux points de rendez-vous de 175 m pour l'organisation des paquets de 3 bus,
- ❑ l'adaptation des 13 stations du tronc commun pour créer trois points d'arrêts pour chaque type de convoi aux extrémités des stations,
- ❑ l'adaptation au maximum des 6 principales stations du réseau pour créer une mezzanine avec passerelles d'accès pour y organiser le péage et les contrôles,
- ❑ l'adaptation du système de gestion du trafic routier pour cadencer à la minute le passage des autobus aux différents carrefours du tronc commun de l'Avenida Caracas.

Structure des stations centrales et système de péage par tourniquets situés aux extrémités des stations

Ces 2 points de rendez-vous disposeraient de 3 couloirs de circulation de 3,5 m sur 125 m ou 175m afin de pouvoir ranger chaque minute deux convois de 2 ou 3 bus. Ces équipements seraient gérés par des systèmes de feux tricolores pour lancer les convois dans un ordre défini.



Coupe de la structure d'une station centrale commune aux deux directions

Utiliser des autobus et des stations à deux niveaux pour assurer l'avenir de ce système

Une seconde transformation plus ambitieuse pourrait permettre de tripler le trafic du système actuel pour atteindre environ 90 000 voyageurs par heure et par sens et plus de 1,5 millions de voyageurs par jour.

Cette seconde transformation ne nécessiterait aucune infrastructure routière nouvelle Avenida Caracas, elle nécessiterait :

- de remplacer les bus articulés par des bus à 2 étages de 14 mètres de longueur et de 220 places, ces bus disposeraient de 3 portes à gauche aux 2 étages,
- de remplacer toutes les stations par des stations à deux ou trois niveaux avec portes palières aux deux niveaux pour augmenter les surfaces d'attente et d'échanges des voyageurs,
- de faire circuler deux convois de 4 bus à deux étages (4 bus express et 4 omnibus) toutes les minutes sur le tronç commun,
- de créer des mezzanines avec des passerelles pour la vente et les contrôles lorsque le trafic passagers le nécessite.

Il est à noter que cette option avec des bus à 2 étages de 220 places et 78 places assises par bus, soit un taux de 35 % de places assises par bus, offrirait une meilleure qualité de service pour les clients que les bus articulés de 165 places et 48 places assises par bus qui n'offrent que 29 % de places assises.

Le système Transmilenio et le respect de l'environnement

Le projet Transmilenio a permis d'améliorer très largement l'environnement et les conditions de vie des habitants de Bogotá, ce qui est confirmé par tous les sondages.

Le bilan actuel de cette première phase établi suite à diverses enquêtes a permis de montrer qu'il fait économiser 250 millions d'heures aux habitants de Bogotá par rapport à l'ancien système de bus. Aujourd'hui les habitants de Bogota qui utilisent Transmilenio partent travailler de jour et rentrent de jour alors qu'ils devaient partir de nuit et rentrer de nuit avec l'ancien système de bus.

Sur le plan du cadre de vie, l'effet est le même que celui d'un tramway de surface dans le centre ville d'une ville européenne ainsi que sur le plan du bruit et de la pollution atmosphérique.

Les perspectives de développement évoquées ci-dessus comme le doublement ou même de triplement du trafic nécessiteront de réduire encore les émissions polluantes des autobus car les principes

mêmes de ce système sont incompatibles avec une captation externe d'énergie électrique utilisée par les tramways, les trolleybus ou les modes routiers guidés. Cet impératif nécessitera soit de recourir à une transmission diesel-électrique, un pot catalytique et un carburant désulfuré pour minimiser la pollution des moteurs, soit de s'orienter vers des moteurs au GNV ou au GPL.

Conclusions

Le système Transmilenio est le système de bus le plus performant du monde et ses performances sont équivalentes à celles d'un métro lourd.

Les deux projets d'exploitation esquissés ci-dessus permettent d'affirmer qu'il serait possible, sans créer de nouvelles infrastructures, d'atteindre avec un système de bus en site propre le trafic du RER A de Paris (915 000 voyageurs par jour et 57 500 voyageurs par heure et par sens) pour un coût d'investissement 20 à 30 fois inférieur ou même de le dépasser de plus de 50%.

Le coût d'investissement moyen au kilomètre du système Transmilenio est le dixième de celui d'une ligne de métro classique et les coûts d'exploitation sont de la moitié.

Le principe des stations centrales fermées en voirie avec portes palières et contrôle à l'entrée dans les stations serait parfaitement transposable en Europe notamment pour les stations à fort trafic des réseaux de tramway. Ce principe des stations centrales fermées permettrait, sans augmenter les emprises, de réduire la fraude et le temps des échanges passagers ce qui améliorerait très sensiblement la vitesse commerciale et les performances globales des réseaux de tramway.