

Genève

Opportunité et faisabilité d'un métro automatique léger



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE

BR Q 1920

Juillet 1987



LIVRE

Opportunité et
faisabilité d'un
métro
automatique
léger : rapport
de synthèse




Haut

Genève : République et
canton de Genève

Options de prêt ... 1987

Envoyer vers

 **Disponible à**
Bibliothèque d'art
et d'archéologie
Magasin 00 (BAA BR
Q 1920) et d'autres
localisations >

Détails

Liens

Etagère virtuelle

Options de prêt et
de demande
Veillez
vous

connecter
pour
vérifier les
options de
demande
disponibles.



S'identifier

BRQ 1920

18
20-289

SOMMAIRE

REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE

AVANT-PROPOS

PREAMBULE

Opportunité et faisabilité d'un métro automatique léger

PARTIE A

RAPPORT DE SYNTHESE

En quoi consiste

Est-il opportun de réaliser un
métro automatique léger à
Genève

La faisabilité

Le projet de métro automatique
à Genève

Roland RIBI
Aménagiste & ingénieur-conseil / Onex

sur la base des études réalisées en collaboration avec

Blaise DERIAZ
Ingénieur-conseil / Genève

Bureaux d'ingénieurs associés

Michel BUFFO
Michel CHATELAIN
MOUCHET, DUBOIS & Cie, Bureau d'ingénieurs SA
Genève / Onex / Petit-Lancy

PARTIE B

Les conditions de réalisation
conceptuel
dans un quartier
Genève

TRANSPORTS PUBLICS GENEVOIS

ZIMMERMANN & SCHUTZLE
Bureau d'ingénieurs / Onex

SA Conrad ZSCHOKKE
Genève

Juillet 1987



BR Q 1920

REPUBLIQUE ET CANTON DE GENÈVE

SECRETARIAT D'ÉTAT

DÉPARTEMENT DE L'ÉCONOMIQUE

PROJET DE TRAVAIL

1987

1987

A. P. 1987

1987

Opportunités
et faisabilité d'un
métro automatique léger

RAPPORT DE SYNTHÈSE

1987

Aménagement & ingénierie

Don Dpt Trav. Publics

Illustration couverture : Studio Adhésif

Photo dos de couverture : Archives de la SDN, reproduction Nicolas Crispini, photographe.

Graphisme : Elisabeth Aeschbacher

Les fonds cartographiques utilisés dans ce rapport sont des extraits de la carte nationale reproduits avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 6.7.1987.

Les photographies des pages 15 et 16 sont tirées de la documentation mise à disposition par les constructeurs.

Impression : SRO-Kundig SA, Arts graphiques et communication, Châtelaine/Genève

88 / 2043

898'604

SOMMAIRE

| | | | |
|--|------|---|----|
| AVANT-PROPOS | III | Chapitre 3 | |
| PREAMBULE | V | Quels besoins de déplacement un métro automatique peut-il satisfaire ? | 18 |
| Mandat | VI | Une ambiguïté qu'il faut lever | 18 |
| Organisation de l'étude | VI | Quels sont les besoins de déplacement et comment vont-ils évoluer ? | 19 |
| Etudes et mandataires | VII | Une image représentative de la demande | 19 |
| Remerciements | VIII | Quelles sont les liaisons les plus importantes ? | 21 |
| | | Où peut-on espérer agir de manière sensible sur la répartition modale ? | 22 |
| PARTIE A | | Chapitre 4 | |
| La question posée : | | Les obstacles qu'il faut vaincre | 26 |
| Est-il opportun de réaliser un métro automatique léger à Genève | 3 | Les contraintes techniques du métro automatique léger | 26 |
| Le contexte initial | 3 | Les contraintes du site urbain | 27 |
| Une approche fondamentalement différente | 3 | Les contraintes de tracé souterrain | 28 |
| Le contexte d'aujourd'hui | 4 | Chapitre 5 | |
| Ce que peut offrir un métro automatique léger | 4 | La conception d'un réseau de métro automatique léger | 31 |
| La comparaison tramway/métro automatique léger et ses limites | 5 | Transports collectifs lourds à Genève | 31 |
| Bilan comparatif | 7 | Liaison avec la région annemassienne, passage de la frontière | 32 |
| Conclusion | 8 | Le rôle d'un métro automatique léger dans le système des transports collectifs genevois | 32 |
| | | Une politique des transports cohérente | 32 |
| | | Réponse à la demande | 32 |
| PARTIE B | | PARTIE C | |
| Les facteurs influençant la conception d'un réseau de métro automatique léger à Genève | 13 | Comparaison Croix ferroviaire (tramway) /Métro automatique léger | 35 |
| Chapitre 1 | | Chapitre 1 | |
| Qu'est-ce qu'un métro automatique léger ? | 13 | Que peut-on comparer ? | 37 |
| Les systèmes pris en compte | 15 | Une question délicate | 37 |
| Chapitre 2 | | Le concept de Croix ferroviaire | 37 |
| La ligne de tramway no 12 peut-elle jouer un rôle dans un réseau de transports collectifs structuré autour d'un métro automatique ? | 16 | Le concept de Métro automatique léger | 38 |
| | | Les niveaux de comparaison | 39 |

Chapitre 2 Les réseaux, bases de la comparaison

| | |
|------------------|----|
| Les réseaux | 40 |
| Variante de base | 40 |
| Variante T-Tram | 41 |
| Variante X-Tram | 42 |
| Variante I-Métro | 43 |
| Variante J-Métro | 44 |
| Variante R-Métro | 45 |

Chapitre 3 Les prestations

| | |
|---------------------------------|----|
| Les caractéristiques de l'offre | 46 |
| Places offertes | 46 |
| Prestations d'exploitation | 47 |

Chapitre 4 Attractivité

| | |
|--|----|
| Choix du mode de déplacement | 48 |
| Comparaison des variantes T-Tram et X-Tram | 49 |
| Comparaison des variantes I-Métro, J-Métro et R-Métro | 50 |
| Comparaison des variantes I-Métro et T-Tram | 51 |
| Charge des réseaux | 52 |
| Charge de lignes | 54 |
| Capacité des lignes | 60 |
| Mise à contribution de la capacité | 60 |
| Accessibilité | 60 |

Chapitre 5 Les coûts

| | |
|---------------------------|----|
| Limites méthodologiques | 65 |
| Structure de présentation | 66 |
| Coûts d'investissement | 66 |
| Coûts d'exploitation | 67 |

Chapitre 6 La réalisation dans le temps

| | |
|---|----|
| Buts et limites du propos | 70 |
| Tramway et métro automatique léger : des différences fondamentales | 70 |
| Les facteurs intervenant dans le choix d'une première étape de réalisation d'un métro automatique léger | 71 |
| Une première étape de métro à titre d'illustration | 72 |

ANNEXE

Ce que pourrait être une première étape de réalisa- tion d'un métro automatique léger

| | |
|-----------------------------------|----|
| Le tracé | 75 |
| Les caractéristiques en bref | 76 |
| Profil en long, profil géologique | 77 |
| Tunnels | 78 |
| Station standard | 79 |
| Garage-atelier | 80 |

AVANT-PROPOS

J'ai déclaré au début de cette législature qu'elle serait celle des transports publics. La détérioration constante des conditions de la circulation en ville, comme la grave dégradation de l'environnement et de la qualité de vie provoquée par l'envahissement des véhicules automobiles, l'engorgement des voies de circulation et la pollution de l'air imposent de trouver une **alternative** dans notre politique des transports. Les réalisations routières coûteuses ne résolvent pas les problèmes, mais ne font que les déplacer localement en raison d'un réseau routier totalement saturé aux heures de pointe. L'étude de la croix ferroviaire a démontré que l'amélioration des prestations des TPG qui en résulterait ne permettrait pas de présenter une véritable alternative aux transports privés avec une offre de transport suffisante pour les besoins de la population et réellement attractive sur le plan de la rapidité et de la fiabilité des déplacements.

D'où la recherche d'une solution totalement nouvelle, qui peut paraître révolutionnaire, mais qui s'inscrit dans la perspective de l'an 2000 : celle d'un **métro automatique léger**, à l'image de la solution exemplaire mise en place à Lille.

Je tiens à remercier très sincèrement toute l'équipe qui a travaillé sous l'égide du département des travaux publics pour la mise au point de l'étude de faisabilité d'un tel métro à Genève. Celle-ci a pris un peu plus de temps que prévu, car elle a évolué en fonction de l'objectif que j'avais fixé au groupe de travail, à savoir l'élaboration d'une image d'un réseau à long terme, avec la possibilité de réaliser une première étape qui pourrait être conçue pour elle-même et offrant une solution à la fois réaliste et performante en matière de liaison entre les deux rives, tout en ne dépassant pas un coût de 1 milliard.

L'étude ci-après démontre la faisabilité d'une telle solution et d'un réseau cohérent à long terme. Sa réalisation serait l'oeuvre d'une génération et correspondrait à un investissement considérable, mais qui reste à la mesure des moyens de notre collectivité.

Le groupe de travail dont j'ai pu apprécier la grande qualité des prestations et avec lequel j'ai eu un plaisir tout particulier à collaborer dans l'élaboration et le respect des objectifs précités, a rempli son mandat avec une compétence remarquable à laquelle je tiens à rendre hommage. Il appartient maintenant au Grand Conseil de décider quelle suite il entend donner à cette étude!



Christian GROBET

Président du Département des travaux publics

PAGE BLANCHE

PREAMBULE



CECI EST UN RAPPORT DE SYNTHESE !

On ne peut pas éviter, en synthétisant sur moins de 100 pages les résultats de nombreux mois de travaux, de ne donner qu'une image très partielle de l'ensemble des études menées à bien.

Le contenu de ce rapport n'est que la partie visible d'un important effort conjugué de toutes les personnes et bureaux ayant collaboré à cette étude.

Trois lignes, quelques chiffres, une illustration résumant parfois des semaines de travail.

Que chaque participant à l'étude soit ici remercié de sa précieuse contribution.

Roland Ribi, aménagiste et ingénieur-conseil

MANDAT

Répondant à une motion du Grand Conseil, le Conseil d'Etat a fait réaliser, sous l'égide du Département des travaux publics cette étude d'opportunité et de faisabilité d'un métro automatique léger.

Rappelons que le Grand Conseil est déjà en possession d'une étude de faisabilité pour l'extension du réseau de tramways selon le concept d'une Croix ferroviaire. Cette étude faisait partie intégrante du rapport du Conseil d'Etat sur les compléments au rapport intermédiaire n° 3 de la deuxième phase d'étude du Plan directeur des transports.

Avec le présent rapport, le Grand Conseil dispose maintenant de tous les éléments d'appréciation qui lui permettront de se déterminer sur le choix du mode de transport public principal le plus approprié pour Genève.

ORGANISATION DE L'ETUDE

La multiplicité et la complexité des aspects à traiter ainsi que les délais extrêmement serrés par rapport à l'ampleur de la tâche ont conduit à choisir une démarche et une organisation d'étude souples et efficaces permettant de mettre en oeuvre, au moment voulu, les compétences nécessaires.

La conduite des études a été confiée à un **groupe de direction** composé de :

MM.

Georges CORSAT, président, directeur de l'aménagement au Département des travaux publics (jusqu'au 31 mai 1987), représentant le mandant (suppléant M. **Jean-Pierre COTTIER**, chef de la division de l'équipement).

Christoph STUCKI, chef du service de la planification et des installations (jusqu'au 30 juin 1987), puis directeur des TPG, représentant la direction des Transports publics genevois.

Roland RIBI, aménagiste et ingénieur-conseil à Onex, mandataire chargé de la coordination générale des études et de la rédaction du rapport de synthèse.

Le groupe de direction a établi les cahiers des charges des diverses études sectorielles qui ont été entreprises, en a assuré le suivi et, cas échéant, déterminé les orientations en cours de travail.

Le Conseil d'Etat a été informé de l'avancement des études par le groupe de direction au cours de deux séances.

ETUDES ET MANDATAIRES

Les différents mandats particuliers constituant l'ensemble de l'étude ont été exécutés par:

Blaise DERIAZ, ingénieur-conseil

Blaise Dériaz, Ing. dipl. EPFZ/SIA/SVI
Eric Grasset, Ing. dipl. EPFL/SIA/SVI

- analyse de la demande de transport
- modélisation des réseaux
- élaboration, évaluation et choix des réseaux pris en compte (en collaboration avec le groupe de direction de l'étude)
- test des variantes
- prestations de trafic des variantes retenues
- relecture du rapport de synthèse

Blaise DERIAZ, ingénieur-conseil ZIMMERMANN & SCHUTZLE, bureau d'ingénieurs

Blaise Dériaz, Ing. dipl. EPFZ/SVI
Michel Savary, Ing. dipl. EPFL

- restructuration du réseau TPG complémentaire (en collaboration avec les TPG)

Bureaux d'ingénieurs associés Michel BUFFO, Michel CHATELAIN, MOUCHET, DUBOIS & Cie, en collaboration avec SA Conrad ZSCHOKKE

Michel Buffo, Ing. dipl. EPFL/SIA/AGI
Michel Châtelain, Ing. dipl. EPFL/SIA/AGI
Claude Dubois, Ing. SIA/AGI
Pierre-Louis Mouchet, Ing. SIA/AGI
Jacques Stebler, technicien
Amando Alvarez, dessinateur-projeteur
Franco Mariotti, dessinateur

Bernard Bourquin, Ing. dipl. EPFL, MBA
Henri Marcacci, Ing. dipl. EPFZ
Max Waldburger, Ing. dipl. EPFZ
Jean Leroy, dessinateur-projeteur

- contraintes du sous-sol
- travaux souterrains
- méthodes et coûts de construction
- actualisation des coûts de construction de la Croix ferroviaire

ZIMMERMANN & SCHUTZLE bureau d'ingénieurs

Michel Savary, Ing. dipl. EPFL
Bernard Terretiaz, technicien-projeteur
Jean-Pierre Schmutz, Ing. dipl. EPFZ/SVI
Rudolf Wampfler, dessinateur-projeteur
Antonio Guld, dessinateur
Béatrice Ruedin, secrétaire

- prise en compte de la ligne de tramway no 12 (en collaboration avec les TPG)
- analyse des potentiels de développement
- études de tracé et de localisation des stations
- coordination entre les études de tracé et l'estimation des coûts

Roland RIBI, aménagiste et ingénieur-conseil

Roland Ribi, Ing. dipl. EPFL/SVI, aménagiste NDS-EPFZ/FUS
Elisabeth Aeschbacher, graphiste
Catherine Lefort, secrétaire

- contraintes de tracé
- intégration des systèmes de transports publics à Genève et franchissement de la frontière par un métro automatique léger
- coûts d'investissement (matériel roulant et équipements) et d'exploitation (en collaboration avec les TPG)
- rédaction et édition du rapport de synthèse

Les rapports et dossiers techniques de ces études sont déposés au Département des travaux publics.

REMERCIEMENTS

Monsieur *Gad AMBERGER*, géologue cantonal, a mis aimablement sa très grande connaissance du sous-sol genevois au service de cette étude.

Les *Ateliers de construction électrique de Charleroi - ACEC* (Belgique), les sociétés *Magnetbahn GmbH* à Starnberg (République fédérale d'Allemagne) et *Matra Transport* à Vanves (France) ont apporté une importante contribution à l'établissement des coûts d'investissement et d'exploitation.

Qu'ils soient ici remerciés pour leur disponibilité et leur aimable collaboration.

PARTIE A

La question posée :

**Est-il opportun de
réaliser un métro
automatique léger
à Genève ?**

PAGE BLANCHE

LE CONTEXTE INITIAL

Déposée en avril 1985, l'étude de faisabilité d'une Croix ferroviaire (tramway), concluait de manière très mitigée que :

- *Théoriquement*, du point de vue de son insertion physique dans le tissu urbain, une extension du réseau de tramway est possible.
- *Pratiquement*, du point de vue de la fiabilité de son exploitation, cette infrastructure nouvelle, essentiellement en surface, sur la voirie routière, est extrêmement vulnérable. Même en lui assurant toutes les priorités nécessaires sur le trafic privé, les risques de perturbation de l'exploitation du tramway restent très élevés. D'autre part, la géométrie de la voie, en particulier en ville, ne permet pas une vitesse commerciale suffisamment élevée pour augmenter l'attractivité du transport public de manière significative.

La perplexité résultant de ces conclusions pouvait s'exprimer de la manière suivante : *l'investissement à consentir pour réaliser la Croix ferroviaire est-il en rapport avec le service rendu ?*

Pour répondre à cette question, il est apparu nécessaire d'envisager la comparaison avec un système plus fiable, plus performant et plus attractif. Seul le site propre intégral était en mesure de répondre à ces exigences plus élevées.

Eu égard à l'importance de la demande et aux qualités exigées, un métro automatique léger (capacité unitaire moyenne, grande fréquence des convois) semblait à même d'offrir une alternative judicieuse. D'où la raison de la présente étude.

UNE APPROCHE FONDAMENTALEMENT DIFFÉRENTE

Une Croix ferroviaire aux ambitions limitées

L'étude de la faisabilité de la Croix ferroviaire était l'un des aboutissements des études du Plan directeur des transports. Les objectifs fixés dans ce contexte à la Croix ferroviaire datent aujourd'hui de plus de dix ans. Il s'agissait, sur l'axe Meyrin - Genève-Centre, de répondre à une demande de transport collectif future, que bus ou trolleybus articulés ne seraient plus en mesure de satisfaire. L'existence d'un tramway (ligne no 12) incitait à envisager l'extension de ce moyen de transport à plus grande capacité vers un réseau en croix correspondant aux lignes de plus forte demande existante et pronostiquée pour 1990. Cette extension a toutefois toujours été imaginée :

- dans le respect du site bâti, c'est-à-dire en excluant le recours à des démolitions de bâtiments, même si la géométrie du tracé devait en souffrir,
- en n'envisageant la mise en souterrain de la ligne que localement, pour éviter des conflits majeurs avec les utilisateurs privés et publics du réseau routier.

A cela il fallait ajouter les obstacles de la topographie et du franchissement du Rhône.

Un métro automatique léger au potentiel de transport élevé

Le recours au site propre intégral pour les transports publics pose le problème d'une manière très différente. D'autant plus que les études ont montré que ce site propre, dans le centre de l'agglomération genevoise, ne pouvait être ni aérien ni en surface.

Dans la mesure où un tracé souterrain s'affranchit des contraintes de surface, il peut, a priori, offrir des liaisons nouvelles particulièrement attractives. Ainsi, contrairement à la simple extension du réseau de tramway, qui doit s'intégrer au réseau TPG existant, la conception d'un métro automatique léger peut

faire abstraction, dans un premier temps, de l'offre existante sur le réseau de surface, sauf de celle de la ligne de tramway no 12. Rappelons que celle-ci a fait l'objet d'investissements récents et que son niveau de service peut encore être amélioré.

La construction d'un kilomètre de ligne de métro automatique léger étant à l'évidence plus coûteuse que celle d'un kilomètre de ligne de tramway, *il est par conséquent logique de fixer des objectifs nettement plus élevés au métro qu'on ne pourrait le faire au tramway.*

LE CONTEXTE D'AUJOURD'HUI

Entre 1975 et 1985, l'effectif des voitures particulières du canton de Genève a passé de 130'000 à 181'000 unités, soit une augmentation de 40 % en 10 ans. Les conséquences de cette croissance considérable de la motorisation, dont rien ne permet d'envisager qu'elle ne va pas se poursuivre, se manifestent aujourd'hui de manière aiguë. Le centre de l'agglomération est totalement saturé par le stationnement et la circulation à l'heure de pointe. Les transports publics sont fortement pénalisés par cette saturation. L'accaparement de l'espace public et les nuisances qui résultent de cette situation contribuent à dégrader considérablement la qualité de l'espace urbain et menacent l'habitation ainsi que la fonction sociale et commerciale du centre-ville qui risque l'étouffement.

Si l'on tient compte, en outre, de la législation fédérale en matière de protection de l'environnement entrée en vigueur récemment, il sera nécessaire d'envisager des limitations importantes du trafic individuel.

Ce contexte nouveau exigera une politique des transports moins libérale dans le sens où le libre choix du mode de déplacement, en particulier pour les pendulaires, conduit à une impasse dommageable pour l'intérêt général.

L'amélioration des transports publics n'est dans ces circonstances plus seulement *envi-sageable pour inciter* la population à un

changement de mode de déplacement, mais devient *indispensable pour assurer* les déplacements de personnes pour lesquelles un changement de mode devra intervenir en fonction de critères d'aménagement urbain et de protection de l'environnement.

La capacité, certes, mais également la qualité de service offerte par les transports publics seront des facteurs déterminants pour le maintien d'une certaine qualité de vie dans l'agglomération genevoise. Eu égard au niveau de vie élevé, les transports publics ne peuvent être que de haute qualité.

CE QUE PEUT OFFRIR UN METRO AUTOMATIQUE LEGER

Un niveau de service nettement plus élevé

Grâce au *site propre intégral* lui évitant tout conflit avec un autre moyen de transport privé ou public, un métro automatique léger serait en mesure d'assurer une vitesse de déplacement de l'ordre de 50 % supérieure à ce qu'un réseau de tramway pourrait offrir, même aménagé de manière à privilégier et protéger le déplacement des convois. Comparée à celle de l'actuelle ligne de tramway no 12, la vitesse commerciale serait plus que doublée. A cela il faut ajouter une fiabilité sans rapport avec celle d'un tramway sur voie.

L'*automatisme*, soit l'absence de personnel de conduite, permet, avec des convois de plus faible capacité que le tramway, une succession rapide des rames sans une augmentation proportionnelle des coûts d'exploitation, soit une meilleure disponibilité du transport public. L'automatisme assure également la possibilité d'adapter rapidement l'offre à la demande en mettant en service des rames supplémentaires à n'importe quelle heure de la journée.

Le cumul de ces quatre facteurs *vitesse, fiabilité, disponibilité* et *souplesse* permet d'assurer un niveau de service élevé, meilleur que celui d'un transport public de surface, voire de la voiture dans de très nombreux cas.

Une offre mieux adaptée aux besoins

Comme un métro doit être créé de toutes pièces et de plus souterrain dans le coeur de l'agglomération, sa conception peut s'abstraire de toutes les contraintes physiques et historiques ayant présidé à l'évolution du réseau des TPG jusqu'à son état actuel.

Les études entreprises, à l'aide d'un modèle informatique, ont en particulier montré l'intérêt d'un double franchissement du Rhône, dont l'un, dans le secteur de la Jonction, ne pourrait pas être envisagé par un moyen de surface comme le tramway. D'autres relations nouvelles, aujourd'hui malaisées, se sont également avérées prometteuses.

Ces études n'ont pu porter, pour des raisons évidentes de délai, que sur la demande de déplacements connue en 1980. On peut, par conséquent, aisément percevoir l'intérêt d'une démarche prospective tenant compte d'une demande future mettant comme élément moteur la réalisation d'un métro automatique léger et son exécution par étapes au service d'une politique d'aménagement du territoire.

LA COMPARAISON TRAMWAY / METRO AUTOMATIQUE LEGER ET SES LIMITES

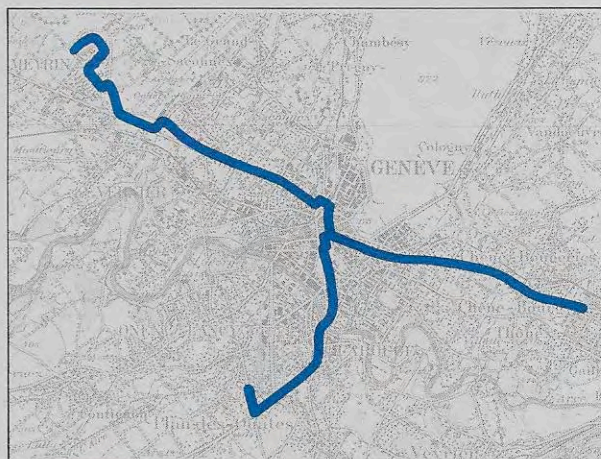
Ne répondant pas aux mêmes objectifs de transport, tramway et métro automatique léger ne peuvent que difficilement être comparés.

Il est évident que la comparaison doit nécessairement porter sur l'ensemble des prestations de transport public assurées non seulement par l'infrastructure lourde (tramway ou métro), mais par l'ensemble du réseau TPG qui s'articule sur elle. Il serait par exemple totalement erroné de procéder uniquement à une comparaison simpliste sur un tronçon de ligne donné.

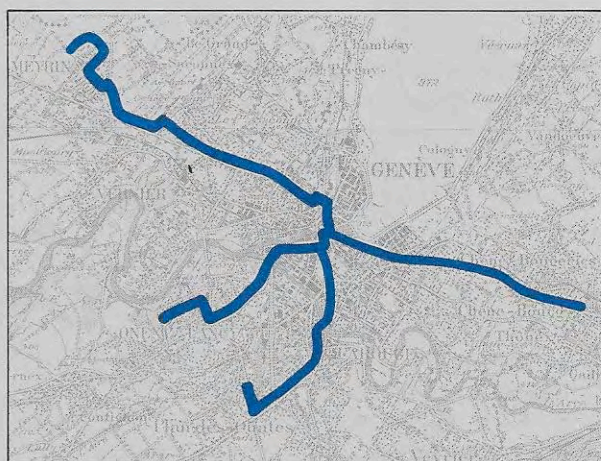
Les bases de la comparaison

L'extension du réseau de tramway avait été

envisagée en considérant un état intermédiaire (T-ferroviaire), consistant à relier Meyrin à la ligne de tramway existante par la place Bel-Air, et un état final (Croix-ferroviaire) reliant Onex à ce nouveau réseau par la place du Cirque. Cette option répondait à la demande actuelle et future en respectant les contraintes propres à un transport de surface.



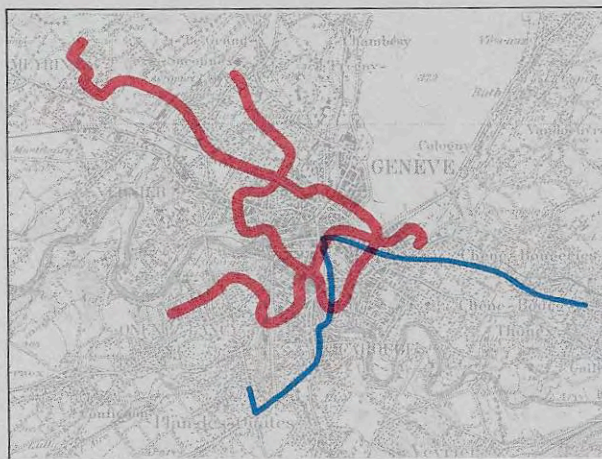
T-ferroviaire



Croix-ferroviaire

Pour l'alternative "métro automatique léger", on peut partir à zéro sans être soumis aux mêmes contraintes qu'un tracé en surface. On se trouve devant un champ de possibilités plus large. *Si bien qu'avant d'envisager des étapes de réalisation, il est nécessaire d'imaginer ce que pourrait être un réseau de métro à Genève.* Ce réseau de référence, appelé ci-après R-Métro, a été conçu après

une analyse approfondie de la demande de transport motorisé (public et privé) des pendulaires et des potentiels de développement à l'intérieur de l'agglomération. *Ce réseau ne doit pas être compris comme une proposition qu'il faut absolument concrétiser mais comme une hypothèse de travail, un cadre dans lequel peuvent s'imaginer des étapes de réalisation progressives.*

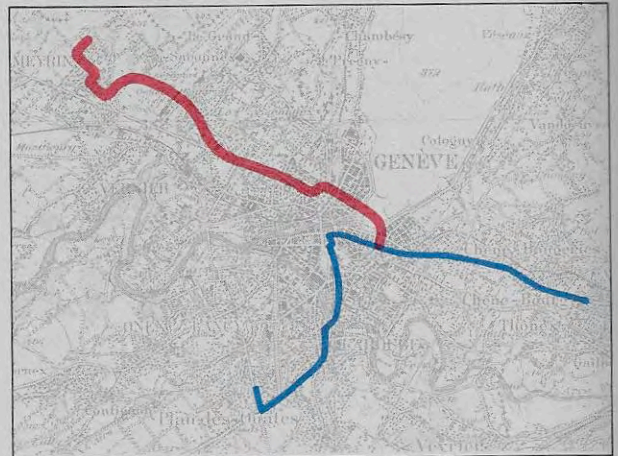


R-Métro

métro ———
tramway ———

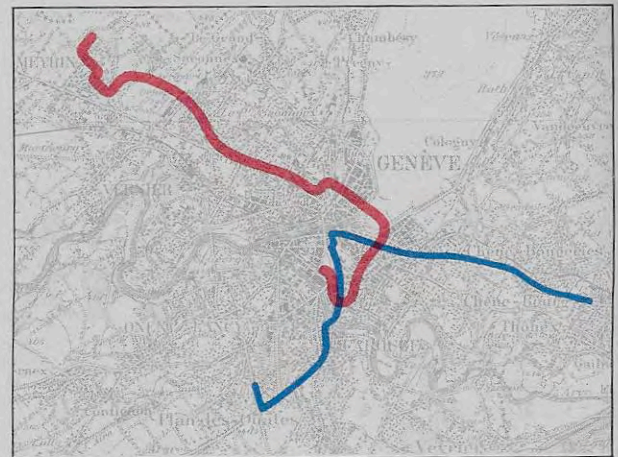
Pour la comparaison tramway / métro automatique léger, ce ne sont pas tellement ces étapes de réalisation qui sont utiles, mais des états qui offrent une desserte territoriale comparable au T, respectivement à la Croix ferroviaire.

C'est ainsi que l'on aboutit à une ligne de métro de Meyrin à Rive (appelée ci-après I-Métro) qui est une partie de R-Métro et peut être comparée au T-ferroviaire. Cet état n'exploite toutefois pas les potentialités du tracé des lignes de R-Métro. Il s'avère en effet qu'un prolongement de la ligne Meyrin-Rive vers Plainpalais par l'Hôpital (J-Métro) draine un trafic sensiblement supérieur, si bien qu'il s'avère opportun de le prendre en compte.



I-Métro

métro ———
tramway ———



J-Métro

métro ———
tramway ———

Une comparaison directe Croix ferroviaire / R-Métro doit être considérée avec réserve car les périmètres desservis et les liaisons offertes par l'infrastructure lourde de transport public diffèrent sensiblement.

Dans tous les cas de figure servant de base de comparaison, l'offre de transport public considérée comprend un mini-RER entre Sécheron et le Bachet-de-Pesay.

Une comparaison néanmoins partielle

Malgré toutes les précautions prises, on ne peut pas éviter des lacunes à ce niveau d'étude. Ainsi, par exemple :

- la vulnérabilité du tramway n'intervient pas; il est admis que son exploitation n'est pas soumise à des perturbations résultant de ses conflits avec le trafic individuel, voire même de ceux internes au système;
- l'attractivité "psychologique" d'un métro est négligée;
- la capacité du tramway de répondre à terme à une demande plus importante résultant de l'augmentation de la population et des emplois, des besoins de mobilité et de mesures de limitation de la circulation individuelle n'a pas été examinée;
- les incidences des chantiers sur la circulation des véhicules individuels et des transports publics n'ont pas pu être appréciés.
- il est fait abstraction de recettes d'exploitation (vente de titres de transport) qui en raison du plus grand nombre de voyageurs transportés seraient supérieures pour le métro;

Toutes ces lacunes inhérentes aux données et moyens disponibles dans le délai imparti à l'étude et au niveau de détail de celle-ci, portent sur des points qui dans une comparaison tramway / métro automatique léger favoriseraient encore ce dernier.

BILAN COMPARATIF

Attractivité

En limitant l'analyse aux déplacements pendulaires pendant la période de pointe du matin (référence 1980), les études ont montré que l'attractivité d'un réseau de transport public s'articulant sur une ligne ou un réseau de métro automatique léger serait supérieure à celle d'un réseau structuré sur un tramway.

Ainsi le métro serait déjà en mesure de con-

tribuer à un transfert important, *en l'absence de toute mesure coercitive*, du mode de déplacement de la voiture au transport public. Le gain se situerait entre 2.3% (I-Métro) et 8% (R-Métro) des pendulaires, ce qui correspond à une augmentation de, respectivement, 6.6% et 22.4% des usagers des transports publics.

A l'heure creuse, l'automatisme du métro permettrait de maintenir une cadence attractive sans provoquer des coûts d'exploitation disproportionnés.

Capacité

Sur un axe donné, la capacité théorique du tramway (composition en double-traction), en admettant un convoi toutes les 90 s., s'élève à 10'400 places/heure/sens. Cette valeur est théorique car elle est réduite à la moindre perturbation retardant un tramway. Pour un métro automatique léger, la cadence d'un convoi à la minute est pratiquement possible. En considérant des rames doubles d'une capacité de 310 places, on atteindrait une capacité horaire de 18'600 places/sens avec le métro.

La capacité limite pratique d'une ligne de métro automatique léger est donc de l'ordre du double de celle d'une ligne de tramway.

L'analyse de la mise à contribution de l'offre à la période de pointe du matin met en général en évidence un meilleur remplissage du métro que du tramway. Sur certains tronçons, la charge maximale (référence: demande 1980) du métro automatique léger dépasserait 90% de la capacité offerte par des rames de 155 places circulant toutes les deux minutes. Cela démontre que ce mode de transport n'offre pas une capacité excessive pour une ville de la taille de Genève.

Gains de temps

En améliorant la qualité de l'offre de transport public, donc son niveau de performance, on élargit le domaine accessible depuis un point en un temps donné.

L'extension du réseau de tramway n'apporterait pas de gain de temps réel, en revanche

la rapidité du métro élargirait sensiblement le territoire pouvant être atteint en un laps de temps donné.

Coûts d'investissement

La comparaison, portant sur le T-ferroviaire, d'une part, le I et le J-Métro, d'autre part, montre que l'investissement par passager supplémentaire est légèrement plus favorable pour le métro.

La comparaison entre Croix ferroviaire et R-Métro irait dans le même sens. Il faut toutefois relever qu'elle n'a guère de sens, dans la mesure où les délais de réalisation raisonnables dépassant dix ans, l'évolution des coûts n'est plus maîtrisable.

Coûts d'exploitation

Les charges d'exploitation supplémentaires (par rapport à la situation de référence) engendrées par I et J-Métro ne sont que de l'ordre de 60 %, respectivement 75 %, de celles engendrées par le T-ferroviaire. L'attractivité de l'offre du métro est pourtant supérieure à celle du tramway.

Dans le même sens, R-Métro, tout en garantissant une augmentation de la qualité de service et de l'attractivité considérablement supérieure à la Croix ferroviaire, se caractérise par des charges d'exploitation inférieures.

Réalisation dans le temps

Ce qui fait ici la différence entre tramway et métro automatique léger n'est pas le temps nécessaire à l'exécution des divers travaux, mais le fait que dans un cas les travaux sont à réaliser exclusivement en surface et dans l'autre en souterrain.

Sur de longs tronçons, dans le premier cas, des nombreux intérêts publics et privés peuvent être touchés. Les négociations et procédures devant intervenir peuvent durer longtemps et retarder d'autant le début des travaux. Ainsi, pour la récente réalisation d'une nouvelle ligne de tramway à Zurich, il s'est

écoulé 12 ans entre l'attribution des crédits d'étude et la mise en service. Il n'y avait pourtant que 4.4 km environ à réaliser à ciel ouvert. La Croix ferroviaire genevoise impliquerait la réalisation de 17 km de lignes nouvelles !

La construction d'un métro, quant à elle, serait presque exclusivement confrontée à des problèmes techniques plus aisément maîtrisables dans le temps.

CONCLUSION

A la question: "*Est-il opportun de réaliser un métro automatique léger à Genève?*", la réponse est positive, surtout si *opportun* signifie "alternative à une extension du réseau de tramway".

Il apparaît en effet que pour des coûts d'investissement sensiblement plus élevés mais pour des coûts d'exploitation plus faibles, le métro est en mesure d'offrir davantage de prestations et d'une meilleure qualité, ainsi qu'un potentiel de passagers nettement supérieur.

Mais le choix définitif d'un transport public pour l'avenir relève de considérations dépassant le cadre de l'alternative tramway - métro automatique léger. En effet, le problème qui se pose à Genève est celui de la saturation du réseau routier, résultant d'une explosion de la motorisation qui va se poursuivre. Les conséquences de cette saturation, pénalisation des transports publics de surface et dégradation de l'environnement urbain, menacent déjà les fonctions sociales et commerciales du centre-ville qui risque l'étouffement.

L'amélioration des transports publics ne peut à elle seule rétablir une situation satisfaisante. Elle contribuera à satisfaire les besoins nouveaux ne pouvant plus être pris en charge par le réseau routier, comme elle l'a déjà fait au cours de ces dernières années. Mais l'amélioration des transports publics de surface, dont une large part subsistera dans le centre même en cas de réalisation d'un métro automatique léger, exige au préalable des mesures de limitation sélective de la cir-

culacion, donc de gestion de l'offre en places de stationnement. Il en est de même pour la réaffectation d'une partie de l'espace public aux piétons.

La maîtrise des conséquences du transfert de déplacements sur les transports publics, résultant des mesures de limitation de la circulation privée, nécessitera une augmentation substantielle de la capacité mais surtout de la qualité de l'offre en transports publics. Ce dernier facteur est important si l'on veut que le changement de comportement dans les transports ne soit pas lui aussi synonyme de dégradation des conditions de vie. C'est dans ce sens qu'un métro automatique léger offre de meilleures perspectives que le tramway (vitesse commerciale, disponibilité, souplesse d'exploitation), eu égard au niveau de vie atteint à Genève.

L'investissement plus élevé requis par un métro automatique léger justifie des mesures complémentaires conduisant à un recours plus massif aux transports publics. Mais simultanément, la qualité supérieure de l'offre de transport maintient voire améliore les conditions de déplacement de chacun, dans une bonne partie du canton.

Les études préliminaires ont montré que moyennant un investissement annuel de l'ordre de 120 à 150 millions de francs par année pendant sept ans, il était possible, dans un laps de temps d'une douzaine d'années depuis l'attribution d'un crédit d'étude, de réaliser une première étape d'un réseau de métro, soit une ligne reliant Meyrin à Plainpalais par Cointrin, les Avanchets, la Servette, Cornavin, Rive, l'Hôpital cantonal et les Augustins. Ceci à titre d'exemple.

PAGE BLANCHE

QU'EST-CE QU'UN MÉTRO AUTOMATIQUE LÉGER ?

Le métro est un mode de transport urbain
rapide, efficace et sûr. Il est conçu pour
servir le public de manière sûre, confortable
et économique. Le métro est un mode de
transport qui permet de se déplacer sans
avoir à conduire.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.
Le métro est un mode de transport qui
permet de se déplacer sans avoir à conduire.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.
Le métro est un mode de transport qui
permet de se déplacer sans avoir à conduire.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

PARTIE B

Les facteurs influençant la conception d'un réseau de métro automatique léger à Genève

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

Le métro est un mode de transport
qui permet de se déplacer sans avoir à
conduire. Il est conçu pour servir le public
de manière sûre, confortable et économique.

PAGE BLANCHE

Chapitre 1

QU'EST-CE QU'UN METRO AUTOMATIQUE LEGER ?

Les métros ont fait leur apparition dans les grandes métropoles à la fin du siècle dernier ou au début de ce siècle. Ils font maintenant partie de l'image des grandes villes. On n' imagine pas Londres sans son "Tube" ou Paris sans son "Métropolitain".

Avec l'éclatement des villes et l'augmentation du nombre de personnes à transporter, ce moyen de transport a dû s'adapter et se moderniser. Aujourd'hui, la plupart des métros du monde sont semi-automatiques ou automatiques, c'est-à-dire que la circulation des rames est contrôlée de manière centralisée et que la sécurité est garantie indépendamment du conducteur. Il y a néanmoins un agent de conduite dans chaque convoi qui exerce un certain nombre de tâches.

Parallèlement au maintien de cette présence humaine du conducteur, certaines tâches de l'exploitation des métros ont tendance à être transférées de l'homme à la machine ou à être assurées de manière centralisée avec moins de personnel (vente et oblitération des titres de transport, surveillance des stations et des quais, etc).

Dans ces conditions, en quoi un métro automatique léger se distingue-t-il d'un métro traditionnel ?

L'*automatisme intégral*, c'est-à-dire la suppression pure et simple du conducteur, est à la base de la réponse que l'on peut donner à cette question.

En effet, il est bien connu que les frais de personnel entrent pour une part importante (de l'ordre de 70 %) dans le total des charges d'exploitation d'une entreprise de transports publics¹⁾. Aux TPG, par exemple, le personnel de conduite représente environ 56 % de l'effectif total.

Aussi, la présence d'un conducteur à la tête de chaque convoi de métro traditionnel (ou d'un autre moyen de transport collectif) justifie que celui-ci ait une capacité aussi grande que possible de telle sorte que cet agent de conduite "transporte" un maximum de voyageurs.

Une excellente illustration de cette nécessité économique peut être trouvée à Genève en comparant les tramways en service aujourd'hui sur la ligne TPG no 12, qui offrent un total de 156 places (motrice + remorque) avec les futures compositions à double traction qui vont les remplacer et qui auront une capacité de 262 places. Une augmentation de capacité de 68 % est sans conséquence sur les frais de personnel de conduite.

Mais les convois de grande capacité présentent un certain nombre d'inconvénients parmi lesquels on peut relever les aspects suivants :

- a) Pendant les périodes de moindre affluence (milieu de la matinée, soirée, jours fériés, etc, la cadence de succession des rames que l'on peut raisonnablement offrir, eu égard au coût, est forcément faible et les temps d'attente qui en résultent pour les usagers peuvent être dissuasifs.
- b) La taille de ces convois (section, longueur, poids) exige des infrastructures de voie et des stations dimensionnées en rapport. Elle intervient donc directement sur le coût.
- c) Le nombre de voyageurs montant et descendant d'une rame dans une station influence le temps d'arrêt qui est un facteur agissant de manière très importante sur la durée d'un déplacement en métro (vitesse commerciale moyenne).

¹⁾ Compte d'exploitation des TPG (exercice 1985) :

Charges totales : Fr. 97'970'000.--, charges pour le personnel: Fr. 69'790'000.--, soit 71.2 %.

Finalement, il faut relever que le personnel de conduite, est soumis à des horaires de travail irréguliers et qu'il faut disposer d'un nombre important de conducteurs à certaines périodes de la journée et moins à d'autres. En respectant des conditions de travail acceptables, cela exige une organisation complexe des rotations et des horaires de travail qui ne laisse aucune place à l'improvisation et ne permet aucune flexibilité dans l'adaptation de l'offre de transport à la demande des usagers.

L'*automatisme intégral* offre par contre la possibilité d'éliminer l'essentiel des inconvénients énoncés ci-dessus en permettant :

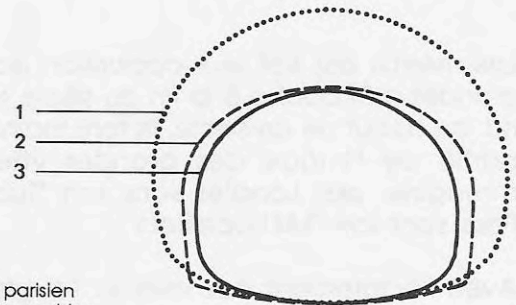
- a) De maintenir une cadence satisfaisante aux heures creuses et de ne pas pénaliser les usagers par de longues attentes.
- b) D'assurer des cadences très élevées aux heures de pointe ce qui supprime quasiment la notion d'attente.
- c) D'adapter en tout temps et presque instantanément l'offre à la demande de transport lors de circonstances particulières, prévisibles ou non, sans se heurter aux problèmes d'effectif et de disponibilité du personnel de conduite.

Cela a pour conséquence première de permettre la réduction de la *capacité* des rames, soit leur *gabarit* et leur *longueur*, sans diminuer la capacité de la ligne.

Le gabarit intervient en particulier dans la section des tunnels et sur le poids des véhicules avec les conséquences diverses que cela entraîne pour la conception de ceux-ci et pour le dimensionnement des ouvrages d'art (viaducs, etc.).

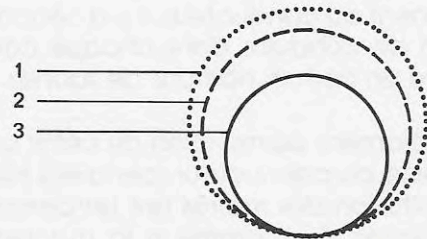
Un tunnel à petite section est plus facile à réaliser, moins coûteux, permet une plus grande souplesse dans la géométrie du tracé, exige une plus faible profondeur par rapport aux bâtiments sous lesquels il passe. Tous ces facteurs agissent de manière favorable sur le *coût*, la *durée de réalisation* de même que sur l'*accessibilité* du métro par le voyageur depuis la surface.

Si le gain de gabarit pour un tunnel à double-voie n'est pas considérable, il l'est davantage dans le cas d'un tunnel circulaire à simple voie ou d'une galerie rectangulaire à double voie réalisée en tranchée couverte.



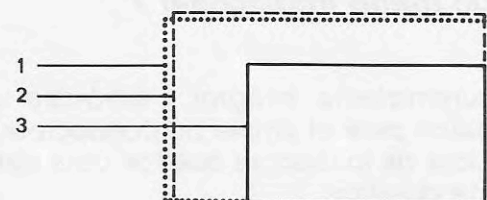
- 1) RER parisien
- 2) Métro parisien
- 3) Métro de Lille

Comparaison de la section intérieure d'un tunnel à double voie



- 1) Métro de Nuremberg
- 2) Métro de Hamburg
- 3) M-Bahn

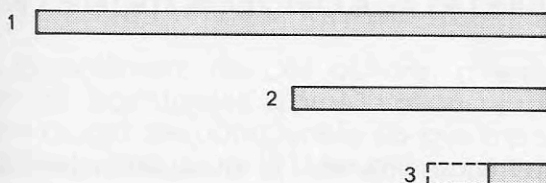
Comparaison de la section intérieure d'un tunnel circulaire à simple voie



- 1) Métro de Nuremberg
- 2) Métro de Hamburg
- 3) TAU

Comparaison de la section intérieure d'une galerie rectangulaire à double voie

La *longueur* des véhicules, et par conséquent celle des quais nécessaires, ainsi que la *capacité* des rames, et le volume des échanges de voyageurs aux arrêts qui en résulte, sont des facteurs très importants agissant sur le coût de la construction et de l'équipement des stations.



- 1) RER Paris
- 2) Métro de Paris
- 3) Métro de Lille (la longueur exploitée aujourd'hui peut être doublée)

Comparaison de la longueur des quais d'une station

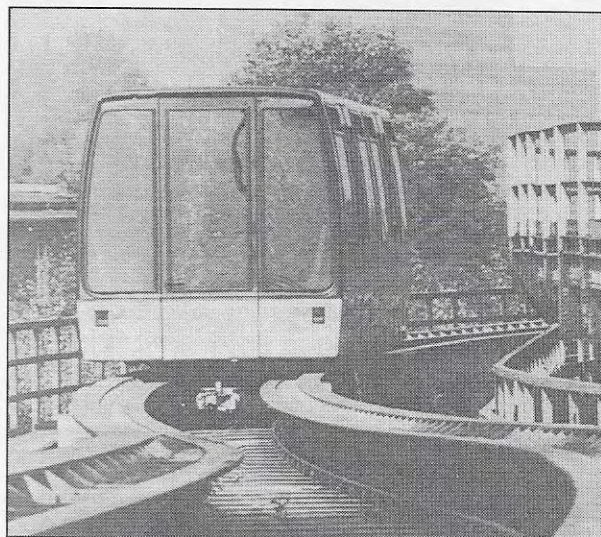
La modernisation du métro classique, depuis la fin du siècle à nos jours, a permis d'améliorer constamment la capacité de transport, la sécurité et le confort des usagers. Toutefois, la présence d'un agent de conduite dans chaque rame a pour conséquence, d'un point de vue économique, de justifier des **convois de très grande capacité**. Ce fait limite le recours à ce mode de transport à des agglomérations urbaines de grande taille et de forte densité de population et d'emplois. Seul l'**automatisme intégral** permet de renoncer à la présence d'un conducteur dans chaque rame et rend possible l'implantation de ce type d'équipement dans des agglomérations de moyenne importance. C'est de cette option fondamentale que découlent les autres caractéristiques du métro automatique léger :

- convois de taille réduite
- matériel roulant de conception "légère"
- capacité de transport facilement modulable
- fréquence élevée.

LES SYSTEMES PRIS EN COMPTE

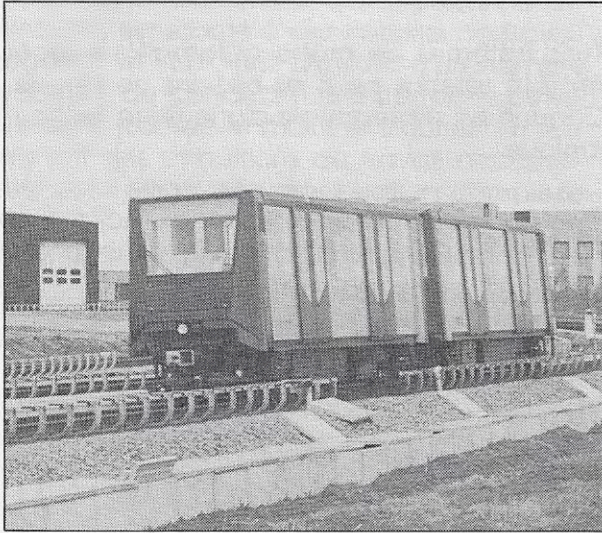
Trois systèmes de métro automatique léger ont été retenus pour les besoins de l'étude. Chacun est représentatif d'une filière technologique.

M-BAHN



- Constructeur : Magnetbahn GmbH et AEG (D)
- Véhicule posé sur poutre
- Sustentation magnétique et roulettes de guidage
- Moteur linéaire à stator long
- Rampe max. : 10 % (15 % voies de service)
- Rayon de courbure min. à vitesse réduite : 50 m.

TAU



- Constructeur: ACEC, BN et CRTH (Belgique)
- Véhicule ferroviaire à voie métrique
- Moteur à courant triphasé 950 V
- Alimentation par troisième rail
- Rampe max. : 6-8 %
- Rayon de courbure min. à vitesse réduite : 10 m.

VAL



- Constructeur : Matra Transport (France)
- Véhicule roulant sur piste en béton ou métal
- Roulement caoutchouc sur béton ou métal et guidage latéral
- Moteurs à courant continu
- Alimentation 750 V par barres de guidage
- Rampe max. : 7-10 %
- Rayon de courbure min. à vitesse réduite : 30-40 m.

Chapitre 2

LA LIGNE DE TRAMWAY N° 12 PEUT-ELLE JOUER UN RÔLE DANS UN RESEAU DE TRANSPORTS COLLECTIFS STRUCTURE AUTOUR D'UN METRO AUTOMATIQUE ?

La ligne TPG n° 12, la seule exploitée au moyen de tramways, jouit d'une relativement bonne image de marque, malgré la vétusté de son matériel roulant et les perturbations quotidiennes que subit son exploitation.

Cette appréciation favorable est confirmée du point de vue de l'entreprise de transport par l'analyse des statistiques d'exploitation :

En 1985, cette ligne a transporté 20'650'000 voyageurs, soit près du quart de la totalité de ceux transportés au cours de cette même année par les TPG.

Sur le plan financier, cette ligne couvre aujourd'hui à plus de 90 % ses charges et est, de ce point de vue également, très largement la meilleure du réseau.

Avec une fréquence moyenne d'une composition toutes les 4 à 5 minutes, par sens, au cours des périodes les plus chargées de la journée, elle offre l'un des services les plus étoffés du réseau des transports publics genevois.

De plus, des actions importantes en faveur de cette ligne ont été décidées et sont en cours de réalisation :

- a) Acquisition d'un nouveau matériel roulant, moderne, à plancher surbaissé (mise en service dès juillet 1987)
- b) Construction d'un nouveau dépôt-atelier au Bachet-de-Pesay (mise en service en janvier 1988) et parallèlement, prolongement de la ligne depuis le Rondeau de Carouge jusqu'à ce nouvel équipement

L'investissement global consenti pour ces actions représente un total d'environ 170 millions de francs en faveur de la ligne 12 (90 mio pour le matériel roulant, 15 mio pour l'adaptation du réseau et 65 mio pour la "part" tramway du dépôt).

Ultérieurement, il est prévu de prolonger la ligne du Bachet-de-Pesay jusqu'aux Palettes (mise en service envisagée à partir de 1992).

En complément de ces actions, diverses mesures ponctuelles d'amélioration seront prises au gré des opportunités. La plus importante sera sans doute la réservation des Rues Basses aux seuls transports publics et aux piétons dès l'achèvement des travaux de la galerie technique.

Malgré toutes les qualités que l'on peut reconnaître à cette ligne, son niveau de performance actuel est faible. Les temps de parcours, à l'horaire, varient entre 32 et 37 minutes selon le sens de circulation et l'heure. Aux périodes de plus fort trafic, c'est une vitesse moyenne de 14 à 15 km/h qui est atteinte sur toute la longueur de la ligne; elle avoisine même 10 km/h sur certains tronçons dans le centre, entre Bel-Air et la gare des Eaux-Vives.

D'autre part, de nombreuses perturbations de la marche "horaire" des convois viennent dégrader la régularité de la circulation de ces derniers, avec tous les désagréments que cela représente pour les usagers.

Dans ces circonstances, il était opportun de s'interroger sur la ligne TPG no 12 et d'examiner quel rôle elle serait en mesure d'assumer dans le système futur des transports publics genevois.

Plus concrètement exprimée, la question posée est la suivante :

Est-il possible, et si oui, par quelles mesures, d'augmenter la vitesse moyenne de circulation sur la ligne 12, de manière à ce que celle-ci puisse être intégrée à l'ossature principale d'un système de transport collectif s'articulant sur un réseau de métro automatique léger ?

La réponse, sur le principe, est positive et peut être sommairement justifiée de la manière suivante :

- a) Il serait possible d'atteindre une vitesse commerciale moyenne de 20 km/h sur toute la longueur de la ligne. Par comparaison aux 30 km/h que l'on peut légitimement attendre d'un métro automatique, la différence de vitesse a pour incidence, sur un parcours moyen de 2,5 km, d'allonger le temps de déplacement d'environ 2,5 min, ce qui correspond à 150-200 m de marche à pied. Si l'on fait abstraction des risques de perturbation de l'exploitation de la ligne, l'espace plus petit des stations de la ligne de tramway permet de compenser cette différence pour l'usager.

La vitesse moyenne de circulation escomptée varie selon le tronçon de ligne considéré. Ainsi, entre Moillesulaz et la gare des Eaux-Vives, c'est 22 à 23 km/h qu'il faut considérer, alors que sur le tronçon à créer entre le Rondeau de Carouge et les Palettes, on prévoit une vitesse moyenne de 20 km/h.

- b) Il serait possible d'améliorer la régularité de fonctionnement de la ligne en diminuant les causes de perturbation. La voie peut être protégée davantage en créant un site propre sur certains tronçons et en réduisant par des mesures constructives le risque d'empiètement de la circulation privée sur les voies.

D'autre part, une plus grande priorité au tramway dans la régulation des carrefours permettrait également d'assurer une meilleure régularité de marche.

La ligne de tramway no 12 fait l'objet d'une modernisation importante (matériel roulant, dépôt) et d'une extension. Par des mesures d'aménagement et d'exploitation adéquates, il serait possible d'augmenter sensiblement sa vitesse commerciale moyenne et sa régularité de fonctionnement.

Cela justifie son maintien à long terme en tant qu'élément de l'ossature principale d'un réseau de transport collectif s'articulant sur un métro automatique léger.

Chapitre 3

QUELS BESOINS DE DEPLACEMENT UN METRO AUTOMATIQUE PEUT-IL SATISFAIRE ?

UNE AMBIGUITE QU'IL FAUT LEVER

Lorsque l'on compare plusieurs produits entre eux avant d'en acquérir un, on le fait en fonction d'un besoin que l'on a identifié. Les produits entrant dans le choix sont destinés à un même usage et se distinguent par leurs qualités respectives par rapport à cet usage.

Dans le cas qui nous occupe, c'est-à-dire le choix entre un système de transports publics s'articulant sur un réseau de tramway et un réseau de métro automatique léger, la situation est différente. Il ne s'agit pas de choisir entre deux "produits" conçus pour un usage identique. Tous deux sont certes des moyens de transport public, mais se distinguent l'un de l'autre par des caractéristiques essentielles. Il en résulte une ambiguïté qu'il est nécessaire de lever.

Sans revenir en détail sur les études du Plan directeur cantonal des transports, on rappellera tout de même que le concept de "Croix ferroviaire" est issu du constat qu'il n'était guère possible sur l'axe Meyrin - Genève-Centre de répondre à la demande de transport collectif future au moyen de bus ou trolleybus articulés. La capacité propre de ce type d'équipement n'étant plus suffisante, l'existence d'un tramway (ligne no 12) incitait à envisager l'extension de ce moyen de transport à plus grande capacité. Celle-ci a toutefois toujours été imaginée :

- 1) dans le respect du site bâti, c'est-à-dire en excluant le recours à des démolitions de bâtiments, même si la géométrie du tracé devait en souffrir,
- 2) en n'envisageant la mise en souterrain de la ligne, localement, que pour éviter des conflits majeurs avec les utilisateurs privés et publics du réseau routier.

D'autre part, la topographie et le franchissement du Rhône étaient autant de contraintes importantes.

On était alors très loin de la notion de site propre intégral comme on le conçoit pour un métro.

Ce n'est qu'au vu des résultats de l'étude d'extension du réseau de tramways, en mettant en rapport les coûts, la qualité de service et la vulnérabilité d'un tel projet, qu'un doute s'est installé. A ce doute s'est superposé un engouement dans les milieux politiques en faveur d'un métro automatique léger, ce qui a conduit à la présente étude.

A partir du moment où l'on envisage la réalisation d'un métro automatique léger, un certain nombre de données fondamentales du problème posé changent :

- 1) Il n'y a plus de relation de continuité physique entre le tramway no 12 et le métro.
- 2) Le site propre intégral imposé par le métro automatique conduit nécessairement, pour des raisons évidentes d'intégration, à un tracé souterrain au coeur de l'agglomération. Ce tracé, qui n'est alors plus soumis aux contraintes du bâti de la surface, peut ainsi être envisagé selon d'autres critères qu'un moyen de transport de surface.

C'est donc un système entièrement nouveau qui est à concevoir en tenant compte des qualités et des possibilités intrinsèques d'un métro automatique léger.

Au niveau de performance du métro automatique, nettement plus élevé que celui du tramway, correspond un coût d'investissement supérieur. Il est donc indispensable d'absorber cette plus-value en fixant des objectifs de transport notablement plus ambitieux au métro automatique.

La fixation de ces objectifs passe obligatoirement par une réflexion de fond sur l'organisation des transports à Genève.

QUELS SONT LES BESOINS DE DEPLACEMENT ET COMMENT VONT-ILS EVOLUER ?

La multitude de déplacements s'opérant en un jour dans l'agglomération genevoise est la résultante d'un ensemble complexe de relations auxquelles le réseau de transport offre un choix plus ou moins large de possibilités.

Projeter un réseau de métro automatique léger (ou toute autre infrastructure de transport) exige une bonne connaissance :

- a) des motifs de déplacement,
- b) du nombre de ces déplacements et de sa variation dans le temps,
- c) de l'origine et de la destination des déplacements.

Ces données sont à considérer :

- *aujourd'hui*, c'est-à-dire au moment de l'établissement du projet,
- *demain*, lorsqu'il sera entièrement réalisé,
- *à plus longue échéance* car, une fois construit, un réseau de métro ne peut plus, en principe, être modifié que par des extensions de lignes.

La connaissance de ces déplacements est aujourd'hui fragmentaire et se fonde sur des informations anciennes puisque datant de 1980. De plus, les outils informatiques utilisés (simulation) sont en cours d'adaptation pour permettre une meilleure exploitation des données.

La mise sur pied d'une base de données à jour et complète ainsi que la mise au point d'un nouveau modèle de transport exigeront encore de nombreux mois.

Il a donc été nécessaire, dans la présente étude, de travailler avec les données et les modèles disponibles. La demande de transport prise en compte est donc sous-estimée par rapport à la situation actuelle et il n'a pas été possible de faire une prévision fondée de la demande future.

UNE IMAGE REPRESENTATIVE DE LA DEMANDE

Parmi les motifs qui, sur l'ensemble d'une journée, conduisent des individus à se déplacer dans l'agglomération genevoise, celui qui consiste à se rendre de son domicile à son lieu de travail ou d'études est sans conteste très important.

Bien que partielle et ne permettant pas à elle seule d'établir l'ensemble des besoins de déplacement d'une journée, la connaissance des flux de déplacements pendulaires permet de constituer une image représentative de la demande de déplacement aux heures de plus fort trafic, principal facteur de dimensionnement du système de transport.

Cette information est disponible à Genève par l'intermédiaire du dépouillement particulier opéré sur les données du Recensement fédéral de la population (RFP) de 1980.

Parmi les 168'000 pendulaires domiciliés dans le canton de Genève :

- 42'000 (25 %) se déplacent à pied ou en deux roues
- 126'000 (75 %) se déplacent en voiture ou en transports publics.

Il n'est, a priori, pas souhaitable d'inciter les premiers à choisir un autre mode de déplacement. C'est parmi les seconds par contre, que nous appellerons les pendulaires "motorisés", que se trouvent les usagers potentiels d'un métro automatique léger.

De ces 126'000 pendulaires motorisés, 99'000, soit 79% du total cantonal, avaient leur déplacement lié à la ville de Genève (périmètre communal) et 37'000 parmi eux ne se déplaçaient qu'à l'intérieur de ce périmètre.

Les pendulaires résidant hors du canton étaient en 1980 au nombre de 36'000 dont 8'500 venant de Suisse et 27'500 venant de France. Ils ne représentaient que le 22.2% des pendulaires motorisés. Deux tiers d'entre eux avaient pour destination la ville de Genève.

Bien que les actifs venant de l'extérieur soient nombreux, les problèmes qu'ils posent ne

d'au lieu de connaître et maîtriser les futurs développements.

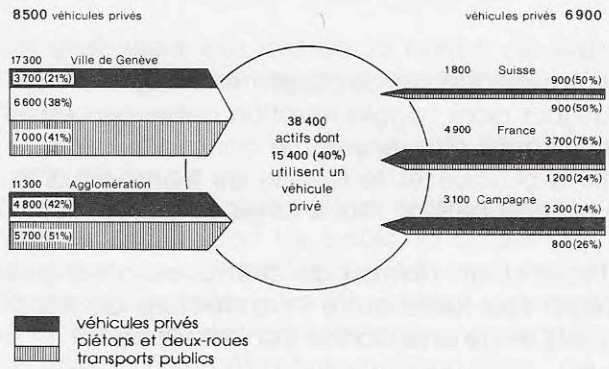
doivent pas être exagérés. Ils ne sont pas forcément déterminants pour la conception d'un nouveau système de transport public qui devrait améliorer les conditions de déplacement dans la partie dense du canton. Par exemple, les places de travail de la ville de Genève étaient occupées en 1980 de la manière suivante :

- 37'200 (34%) actifs motorisés domiciliés en ville,
- 47'200 (43%) actifs motorisés domiciliés dans le canton,
- 24'550 (23%) actifs motorisés domiciliés à l'extérieur,

soit au total 108'950 actifs motorisés travaillant en ville.

Un nouveau système bien adapté aux pendulaires domiciliés dans les parties denses du canton devrait convenir à ceux venant de l'extérieur moyennant la mise en place de points de transbordement (chemin de fer, Park & Ride) judicieusement placés sur les axes de pénétration les plus importants. C'est au niveau du dimensionnement du système de transport public, qu'il faudra tenir compte de ces pendulaires supplémentaires venant de l'extérieur.

Une analyse plus fine, faite au niveau du centre ville rive gauche (délimité par la petite ceinture et le Rhône), met en évidence le rôle des utilisateurs de véhicules privés qui se rendent dans ce périmètre en venant de la ville elle-même et de l'agglomération. L'alternative transports publics existe pour eux, mais ils sont encore 8'500 à aller au centre en voiture contre 6'900 en provenance des zones dispersées du canton et de l'extérieur.



Provenance des pendulaires se rendant au centre-ville

Cela met en évidence le rôle joué par l'offre en places de stationnement dans le choix du mode de déplacement, que l'on peut caractériser par deux cas typiques :

- 1) Si l'on sait pouvoir disposer d'une place de stationnement (privée ou publique), près de son lieu de travail, on n'est pas incité, en l'absence d'inconvénients majeurs, à emprunter les transports publics.
- 2) Lorsque le stationnement au domicile est soit à durée limitée, soit illicite, mais toléré la nuit, on peut être contraint de recourir à son véhicule privé pour se rendre à son travail, afin de libérer cette place.

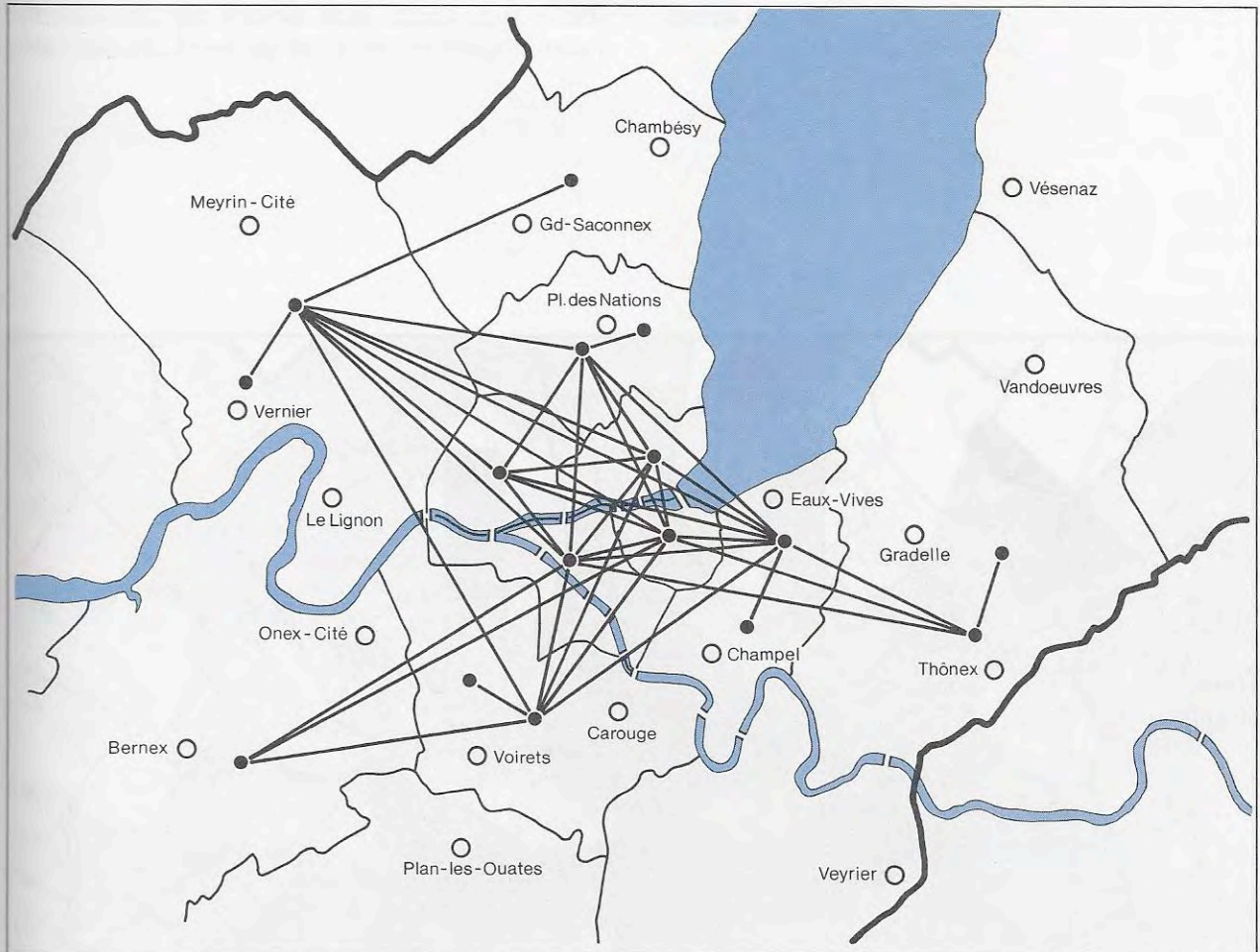
Dans les deux cas, une augmentation sensible de la qualité de l'offre en transports publics aura un effet limité sur leur utilisation par ces pendulaires.

QUELLES SONT LES LIAISONS LES PLUS IMPORTANTES ?

Pour pouvoir concevoir un réseau, il est important de connaître les lignes de désir principales qu'il faut assurer. La recherche de ces liaisons s'est opérée sur la base du RFP 80 en considérant un découpage du canton en 18 cellules (ou "superdistricts"), ce qui en pre-

nant en compte l'extérieur du canton donne 190 liaisons possibles.

En se fixant un seuil minimum arbitraire de 1'400 déplacements pendulaires, entre deux cellules, quel que soit le sens du déplacement, on a pu sélectionner 38 liaisons principales, qui ne concernent finalement que 10 cellules. Elles sont illustrées par la figure ci-dessous.



Superposition des 38 liaisons sélectionnées avec plus de 1'400 pendulaires motorisés

Cette sélection de liaisons comprend la plus grande partie du trafic avec 68 % des pendulaires motorisés domiciliés dans le canton de Genève. Si l'on tient compte des pendulaires venant de l'extérieur du canton, les liaisons sélectionnées représentent tout de même encore 53 % du trafic pendulaire motorisé sur le canton de Genève. Ces proportions sont

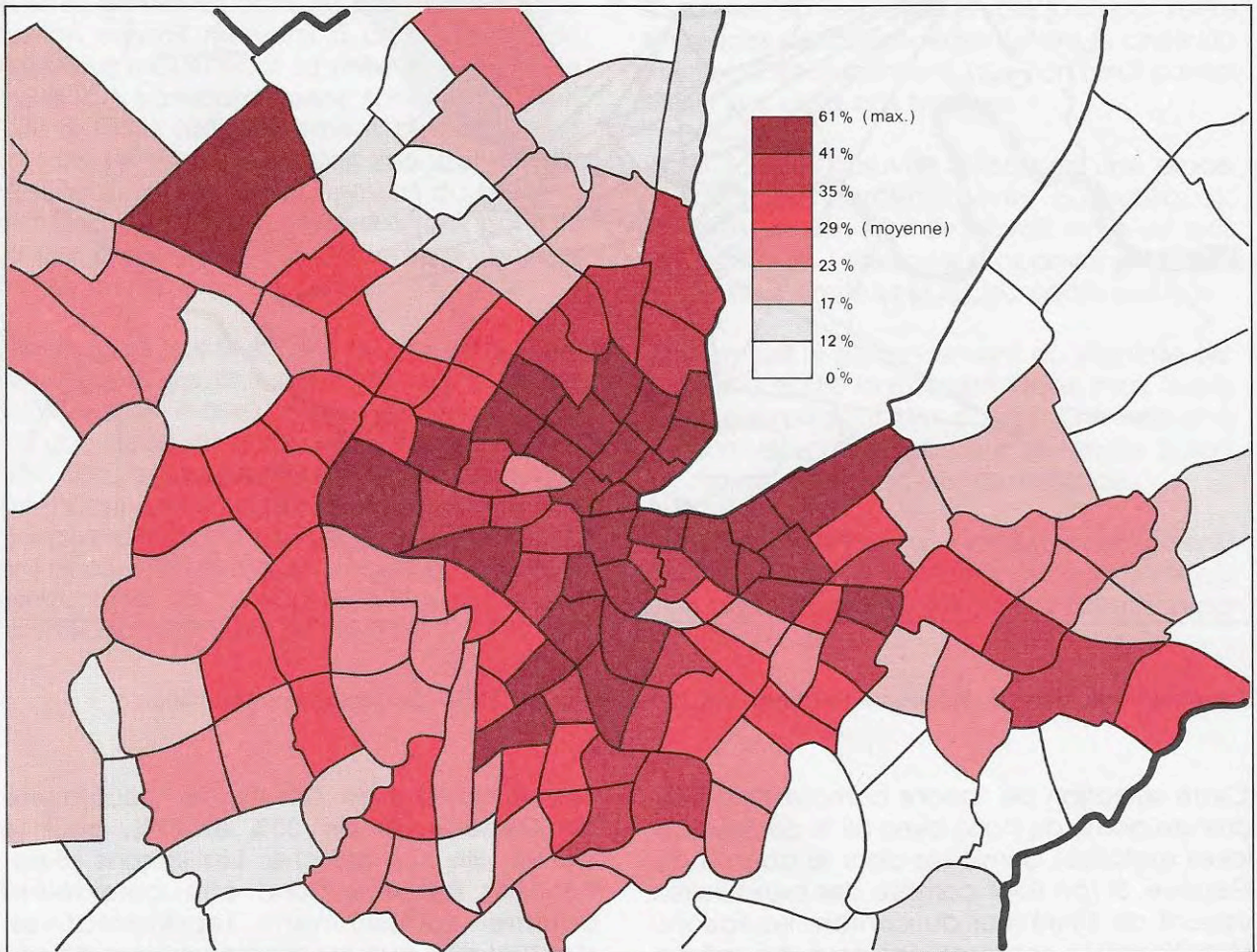
respectivement de 73% et 59%, pour la ville de Genève, et de 85% et 67%, pour le centre-ville rive gauche. Les liaisons sélectionnées peuvent donc être considérées comme suffisamment représentatives, d'autant plus que les principaux axes de pénétration des pendulaires venant de l'extérieur peuvent s'y rattacher.

OU PEUT-ON ESPERER AGIR DE MANIERE SENSIBLE SUR LA REPARTITION MODALE ?

On rappellera tout d'abord que la répartition modale est le pourcentage des déplacements en transports publics par rapport à

l'ensemble des motorisés (transports publics + voitures).

Pour les *déplacements d'origine* (domicile), la répartition modale est relativement élevée dans tous les quartiers anciens de la ville de Genève. Elle semble être influencée par le taux de motorisation et le standing des quartiers notamment au Petit et au Grand-Saconnex ainsi qu'à Florissant et Malagnou.

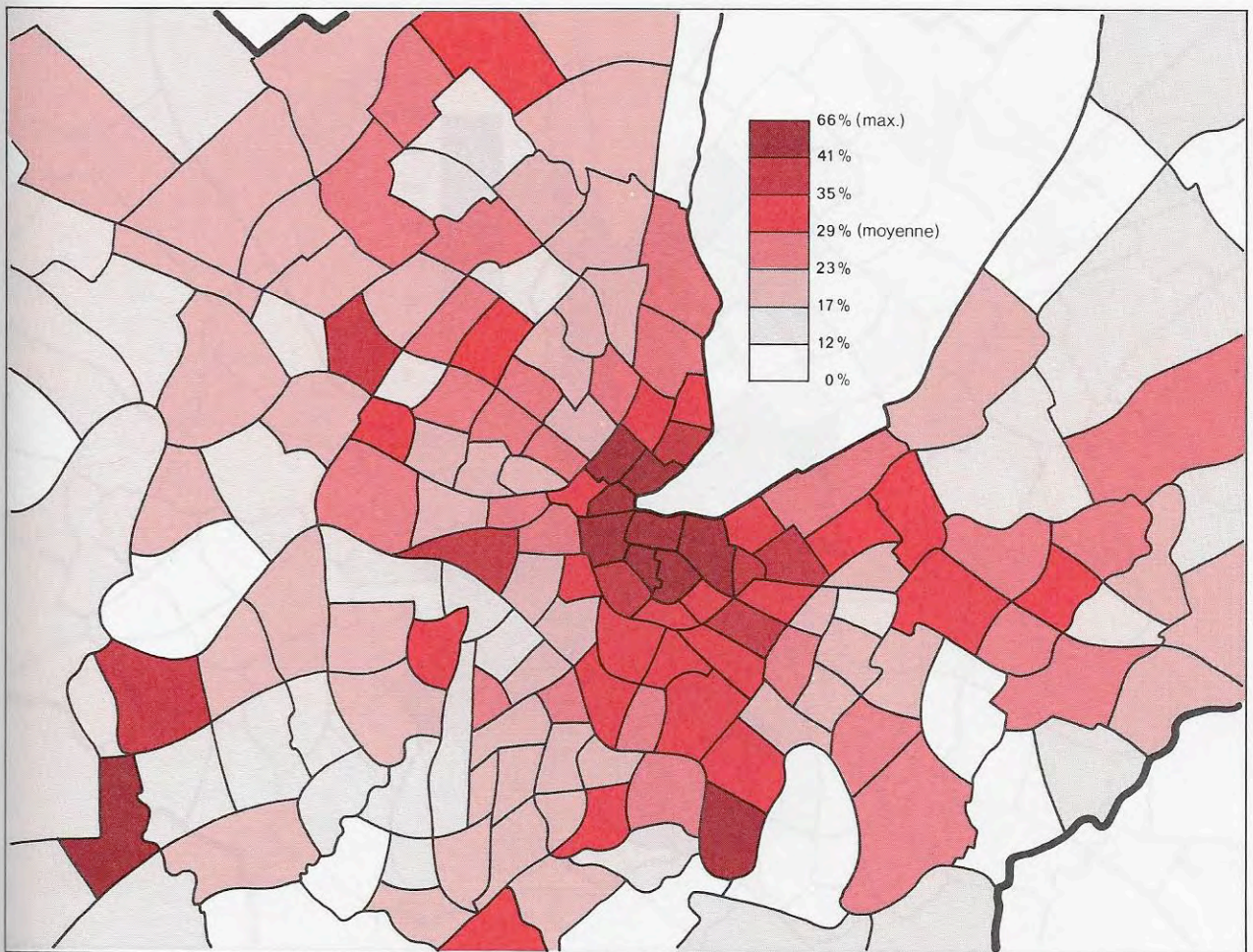


Répartition modale par zone des déplacements pendulaires d'origine (à partir du domicile)

Pour les *déplacements à destination* (place de travail), l'image est assez différente bien qu'il s'agisse des mêmes déplacements qu'auparavant, mais considérés à leur autre extrémité. Seules les zones du centre, qui regroupent un grand nombre d'emplois par rapport au nombre de places de stationnement disponibles, ont une répartition modale élevée. Les zones situées en périphérie du centre rive gauche (Carl-Vogt) se caractérisent par une faible répartition modale, alors qu'au contraire l'axe du tram en direction de Moillesulaz, de même que, dans une moindre mesure, l'axe de la route de Meyrin, mon-

trent une répartition modale plus favorable aux transports publics.

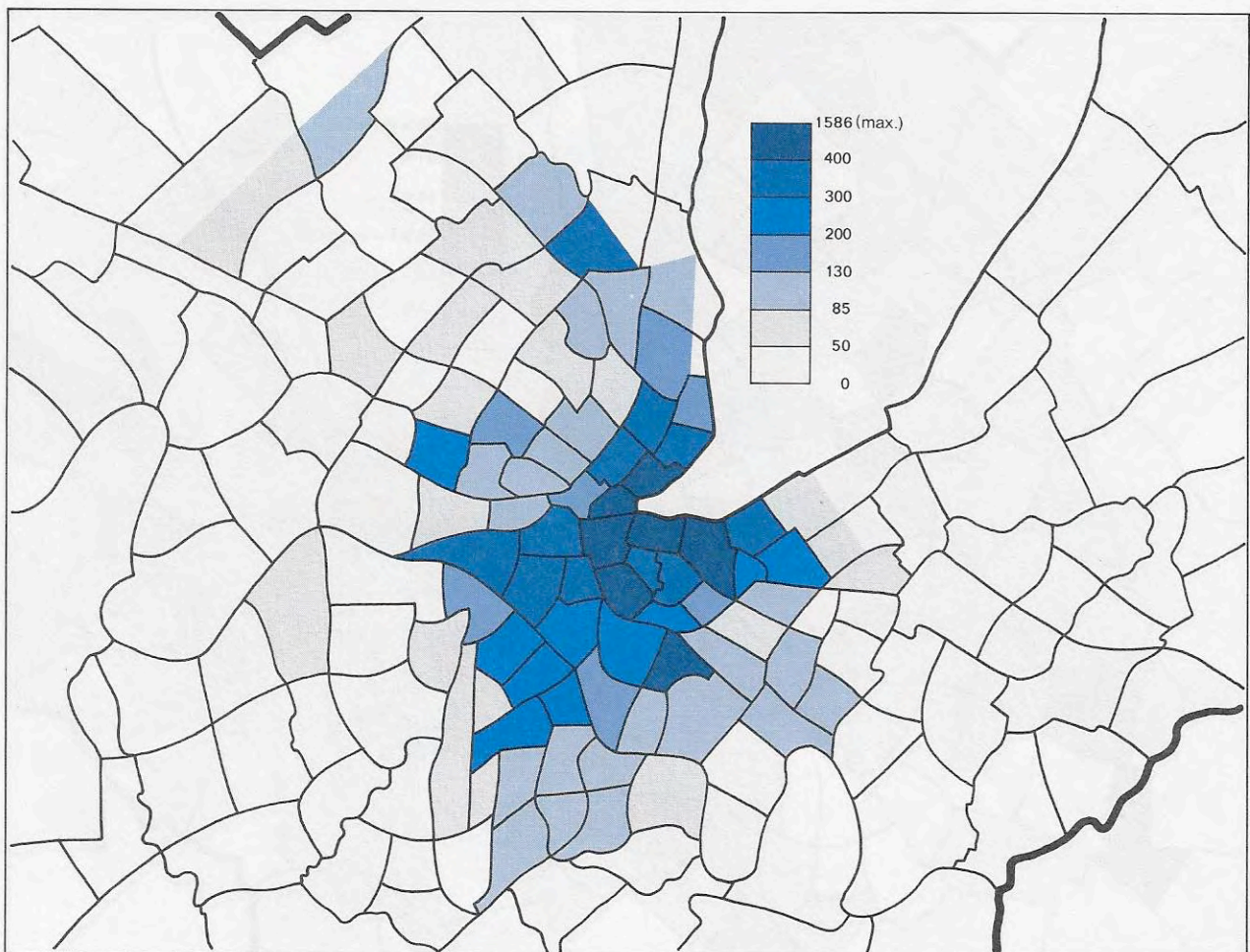
En revanche, la répartition modale à destination du nord et de l'ouest de l'agglomération est particulièrement basse, par exemple dans toutes les zones de la rive gauche de l'Arve. Les possibilités d'évitement par la tangente ouest ainsi que la disponibilité de places de parcage expliquent probablement cette faible utilisation des transports publics qui par ailleurs ne sont présents que radialement dans cette région.



Répartition modale par zone des déplacements pendulaires à destination (place de travail)

Si l'on caractérise les zones de destination par la densité de déplacements qu'elles attirent par rapport à leur superficie, on est en mesure de préciser l'analyse.

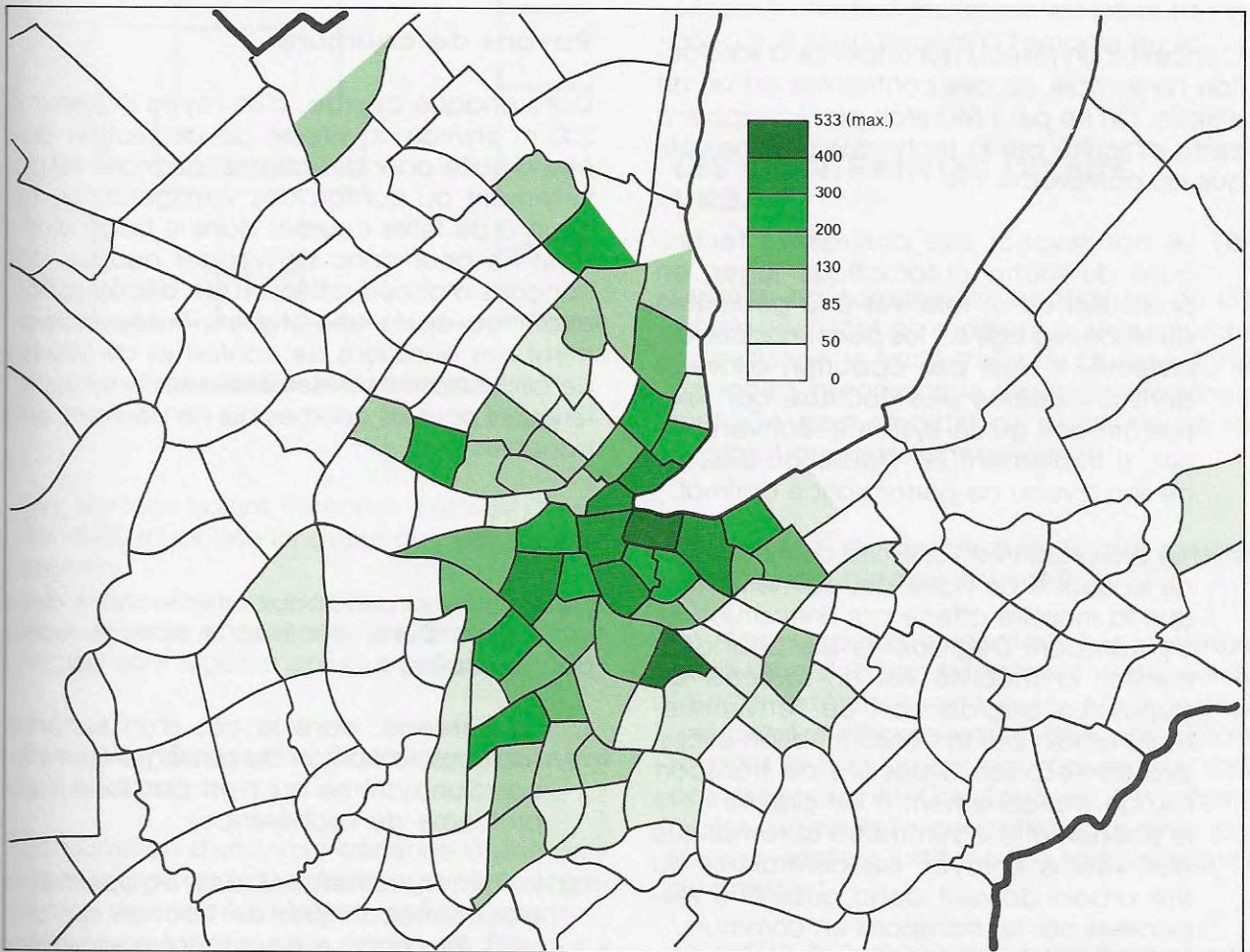
La carte pour les *déplacements motorisés* fait très nettement ressortir que la densité est plus élevée sur la rive gauche avec le centre qui s'étend en direction du sud-ouest.



Densité des déplacements pendulaires "motorisés" à destination

La carte pour les *déplacements en véhicules privés* distingue les mêmes catégories de densité. Bien des zones n'en changent pas, ce qui, dans la plupart des cas, indique une

faible utilisation des transports publics. Les zones du Molard et de l'Hôpital accueillent tout de même plus de 400 déplacements par hectare.



Densité des déplacements pendulaires en véhicules privés à destination

Chapitre 4

LES OBSTACLES QU'IL FAUT VAINCRE

Insérer une ligne de métro automatique léger dans le tissu d'une agglomération urbaine se heurte à divers types de contraintes que l'on peut classer en trois grandes catégories :

- a) les contraintes techniques du métro automatique léger
- b) les contraintes du site urbain et de la géologie
- c) les réponses à la demande de transport.

Concevoir un réseau qui respecte à satisfaction l'ensemble de ces contraintes est un art difficile. On ne peut toutefois pas échapper à cette difficulté par la technique bien helvétique du compromis, car :

- a) Le non-respect des contraintes techniques du métro automatique léger, en particulier celles relatives à la géométrie du tracé, va agir sur les performances du système. Il n'est pas opportun d'investir dans un système plus coûteux, car plus performant qu'un système conventionnel, si finalement on l'utilise au-dessous de son niveau de performance optimal.
- b) Le site urbain est l'une des composantes de la qualité de notre vie, au même titre que la mobilité offerte par l'infrastructure de transport. Dégrader le site pour augmenter la mobilité est un marché de dupes. La dégradation de l'environnement urbain par la consommation excessive de l'espace à des fins de transport (ou de stationnement !) est précisément le phénomène qu'un métro automatique doit viser à enrayer. Les contraintes du site urbain doivent donc aussi être respectées par les transports en commun.
- c) Respecter les deux catégories de contraintes déjà énoncées ne peut pas sim-

plement conduire à rechercher un tracé de "moindre résistance". Le réseau de métro automatique ne peut se contenter de passer là où il peut, mais doit répondre à une demande de transport et passer là où il est nécessaire.

Cette troisième catégorie de contraintes sera prise en compte dans le chapitre traitant de la conception d'un réseau.

LES CONTRAINTES TECHNIQUES DU METRO AUTOMATIQUE LEGER

On se limitera à évoquer ici quelques-uns des aspects agissant notamment sur la géométrie du tracé, d'une part, et sur l'emprise de ce tracé, d'autre part.

Rayons de courbure

Dans chaque courbe, d'un rayon inférieur à 200 m environ, la vitesse de circulation doit être réduite pour des raisons touchant essentiellement au confort des voyageurs. Le recours à de telles courbes dans le tracé d'une ligne ne peut donc s'envisager que sur des tronçons d'accélération ou de décélération, avant ou après une station. Indépendamment des questions de confort et de vitesse de circulation, il est des limites techniques inférieures pour les courbes qui ne peuvent être franchies.

Déclivité

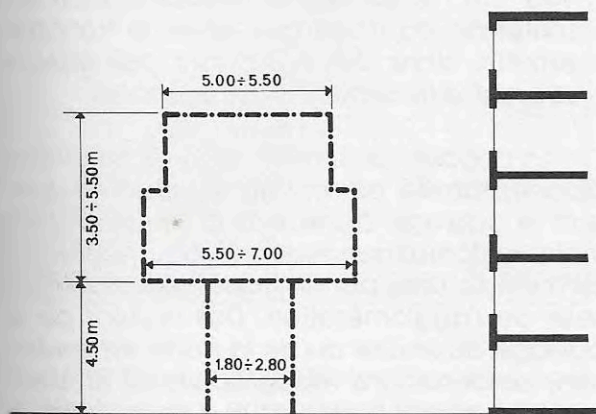
Deux facteurs principaux interviennent dans la fixation d'une déclivité maximale limite pour le tracé :

- a) l'adhérence, dans le cas d'un système sur roues, le confort du passager (dans le cas d'un système qui n'est pas soumis au problème de l'adhérence);
- b) le dimensionnement des équipements électro-mécaniques de traction qui doivent être conçus pour tous les véhicules en fonction de la plus forte pente rencontrée dans le réseau.

Emprise

La notion d'emprise varie selon que l'on se trouve en voie aérienne, de surface ou souterraine. On s'attachera ici à l'emprise d'une voie aérienne ou de surface qui est plus directement en rapport avec les contraintes du site urbain.

La double voie aérienne d'un métro automatique léger occupe un espace relativement important, d'une largeur variant entre 5.50 m et 7.00 m environ selon le système considéré, occupant une hauteur comprise entre 3.50 et 5.50 m du sol (gabarit routier) soit au niveau des 1er, 2e voire 3e étages des bâtiments riverains proches de la ligne.



Emprise d'une double voie aérienne

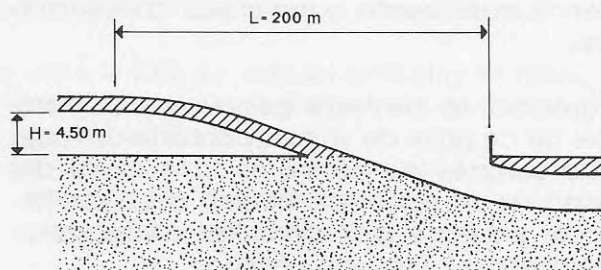
Les stations voient l'emprise s'élargir à plus de 15.00 m sur une longueur de quai de 30 m environ.

Pour la voie en surface, les dimensions en largeur sont légèrement plus petites.

Espace nécessaire à un changement de niveau

La transition d'une voie aérienne à une voie souterraine, en respectant la déclivité maximale du tracé retenue précédemment, exige une longueur de l'ordre de 200 m sur laquelle le gabarit d'un franchissement routier transversal n'est plus assuré et sur les trois

quarts de laquelle tout franchissement, même à pied, est impossible. Ces grandeurs s'appliquent au terrain plat et sont augmentées ou diminuées selon la déclivité du terrain par rapport à la voie.



Transition voie aérienne - voie souterraine

L'effet de coupure de la transition d'un tracé aérien à un tracé souterrain est donc très important. Il se superpose à l'emprise au sol.

LES CONTRAINTES DU SITE URBAIN

La prise en compte des contraintes du site urbain intervient au moment où l'on cherche à positionner le tracé d'une ou plusieurs lignes de métro automatique léger s'interconnectant. On peut aborder ce problème en répondant aux questions suivantes :

Un métro automatique léger peut-il circuler au niveau du sol ?

La réponse paraît évidente. Dans la mesure où la ligne doit être totalement protégée de toute interférence extérieure, elle constitue une barrière infranchissable. Une telle coupure dans le tissu urbain est impensable, sauf cas exceptionnel. Cas échéant, il y a fort à parier qu'une telle coupure ne se situe pas dans un secteur justifiant une forte demande de transport.

Le métro automatique ne peut donc pas, sauf cas exceptionnel, circuler au niveau du sol.

Un métro automatique léger peut-il être aérien ?

La voie aérienne est, a priori, une solution très cohérente avec la notion de métro automatique léger qui, précisément par sa "légèreté", ne nécessite pas une voie aérienne aussi lourde qu'un métro conventionnel.

Toutefois, le contexte genevois, comparable de ce point de vue au contexte de toute ville européenne de même taille ayant des espaces de valeur en relation avec son histoire, présente des difficultés d'intégration notoires pour une voie aérienne.

L'emprise de la voie à elle seule n'est compatible qu'avec de grandes avenues en raison de deux facteurs :

- la distance aux façades de bâtiments qui pose des problèmes d'intrusion visuelle,
- l'effet de "couverture" d'un tracé aérien qui crée un "toit" d'une largeur importante portant ombre.

De plus, si l'on tient compte de l'espace nécessaire aux stations, on constate que celles-ci ne peuvent être implantées qu'en des lieux très exceptionnels où l'on dispose d'une surface au sol suffisante pouvant être occupée par les accès à la station.

Si l'on ajoute à cela la nécessité de respecter un rayon de courbure minimum en ligne de 200 m environ, on constate qu'il n'existe quasiment aucune possibilité d'insérer localement une ligne de métro automatique léger aérienne au centre de l'agglomération genevoise.

A ces considérations purement dimensionnelles, il faut ajouter l'aspect plus subjectif de l'esthétique. Nous n'aborderons même pas ce débat, dans la mesure où l'impossibilité d'un tracé aérien, ailleurs qu'en périphérie de l'agglomération, peut être démontrée assez simplement.

Sans préjuger des réflexions qui seront faites plus loin sur la structure d'un réseau de métro automatique léger, il n'est guère contestable d'affirmer que ce réseau devra passer une à

deux fois d'une rive à l'autre.

Une analyse serrée des possibilités physiques de franchissement du Rhône et de la Rade met en évidence que :

- dans maints secteurs, le franchissement aérien est rendu impossible par un front continu de bâtiments riverains,
- là où le front de constructions riveraines laisse quelques ouvertures, celles-ci sont souvent étroites et d'autres obstacles se trouvent dans leur prolongement, en excluant l'usage,
- même sur des artères généreusement dimensionnées, des obstacles majeurs (voies ferrées à franchir, colline de la Vieille Ville, etc.) rendraient nécessaire la mise en souterrain du tracé peu après le franchissement, dans des conditions par ailleurs souvent difficilement envisageables.

On en conclut, sans faire intervenir de critère d'acceptabilité esthétique ou urbanistique, que le passage d'une rive à l'autre par un métro automatique léger ne peut raisonnablement se faire par un tracé aérien à l'intérieur de l'agglomération. *Dès l'instant où le passage du Rhône ou de la Rade est souterrain, les conditions topographiques et d'occupation du sol sur les deux rives ne permettent plus de "ressortir" avant la périphérie.*

C'est donc la majeure partie d'un réseau de métro automatique léger qui serait souterraine.

LES CONTRAINTES DE TRACE SOUTERRAIN

Contraintes géologiques

Le sous-sol de la ville de Genève présente dans toute la zone qui fait suite au lac, en direction de la Praille, des conditions géologiques rendant très difficile l'exécution des travaux souterrains.

Dans cette zone existe une masse importante de dépôts glaciaires particuliers. Lorsque

le glacier s'est retiré, son extrémité flottait sur un lac qui s'étendait jusqu'à Certoux. Les sables, limons et argiles provenant de la fonte de la glace se sont déposés au fond de ce lac et sont, de ce fait, mous et gorgés d'eau. Cette origine explique les difficultés rencontrées lors de la construction de la galerie de l'Aire et celles nécessitant la congélation du terrain dans l'actuel chantier d'une galerie sous le Rhône à Saint-Jean.

Le périmètre de cette zone critique est schématisé par la carte suivante :



On constate que la partie la plus densément construite et par conséquent la plus susceptible de générer un nombre important de déplacements correspond aux conditions de sous-sol les plus défavorables.

Cette situation délicate justifie un examen plus détaillé des techniques de construction pouvant être prises en considération.

Contraintes d'exécution

Une réalisation en tranchée depuis la surface, comme c'est le cas par exemple dans les Rues Basses pour la galerie technique, se heurte à deux obstacles :

- l'acceptation difficile des inconvénients qui en résultent par les riverains et les usagers de la rue dans laquelle se réalise la galerie,
- les difficultés de géométrie du tracé que l'on rencontre dès que l'on désire changer

de direction; les angles entre rues et l'exiguïté de l'espace disponible ne permettent en général pas de réaliser des courbes d'un rayon satisfaisant.

Ce type de réalisation en tranchée ne pourrait donc s'envisager que pour des tronçons particuliers limités, tels que par exemple :

- dans le cas de nappes phréatiques affleurantes, ce qui est valable pour certaines régions des Eaux-Vives;
- dans la zone de transition entre une section souterraine et une section aérienne;
- sur une partie de tracé hors de la zone urbaine où les travaux ne créeraient pas d'inconvénients majeurs et où les économies d'exécution pourraient le justifier.

La nécessité de pouvoir réaliser des courbes d'un rayon satisfaisant et d'éviter des inconvénients et des nuisances pour les habitants, entraîne l'obligation de recourir à un tracé souterrain relativement profond qui doit être alors réalisé selon des méthodes de construction dont le choix dépend des conditions du sous-sol.

A l'aide des profils géologiques connus dans la zone urbaine, plusieurs méthodes de creuse ont été examinées.

Sur la base d'un tracé recherchant les conditions géologiques "les meilleures", il a été envisagé une réalisation selon les méthodes traditionnelles de creuse à l'avancement avec éventuellement l'emploi d'un tunnelier, les tronçons en terrains difficiles étant réalisés après des injections de consolidation ou de la congélation.

L'étude a rapidement montré que pour la zone urbaine, ce scénario conduisait à une impasse pour les parties du tracé situées en terrain médiocre, zone limoneuse notamment. Les expériences acquises récemment, galeries sous le Rhône et tunnel de l'Aire, démontrent que la creuse de tunnels dans ce type de terrain selon cette proposition conduirait à des délais et des coûts d'exécution inacceptables. Il fallait donc rechercher d'autres méthodes et un autre scénario.

Finalement le choix s'est porté pour les terrains médiocres sur une méthode de creuse à l'aide d'un bouclier à bentonite. Ce choix s'est opéré après de nombreuses recherches auprès d'entreprises et de fournisseurs spécialisés et la visite d'un chantier en travail, celui du métro d'Anvers, où une dizaine de kilomètres de galeries ont été réalisés avec ce type d'équipements dans des terrains très médiocres présentant de grandes difficultés pour la creuse de tunnels (sables d'origine fluvio-marine, aquifères comprenant des insertions de concrétions calcaires dures avec une pression à la tête du bouclier pouvant atteindre 20 à 25 m d'eau).

Les comparaisons des qualités géologiques des terrains faites entre le sous-sol genevois (zone ville) et les terrains où l'utilisation de boucliers à bentonite s'est révélée possible, par exemple Anvers, Rome et divers chantiers en Allemagne, ont montré une similitude certaine entre ces terrains. L'utilisation d'un bouclier à bentonite est donc envisageable à Genève.

Avec un tel équipement de creuse, l'évacuation des matériaux se fait par pompage jusqu'à environ 2 km du front d'attaque. Cela implique des installations fixes extérieures assez importantes qu'il faut localiser à un endroit facilement accessible.

L'emploi d'un bouclier à bentonite impose de choisir un tracé présentant un profil géologique homogène dans ses caractéristiques (rester dans les mauvais terrains et éviter les variations de qualité).

Le scénario d'exécution des travaux de creuse pourrait donc être le suivant : tunnelier avec bouclier à bentonite dans les terrains difficiles; méthode traditionnelle à l'avancement avec éventuellement tunnelier dans les terrains de qualité suffisante; quelques tronçons en zone difficile ou de transition devraient être réalisés après consolidation par injection ou congélation.

Le choix d'un tel scénario, le seul techniquement et économiquement envisageable, exerce une influence déterminante sur l'ensemble de la réflexion relative à l'exécution d'un tracé souterrain. En effet, un bouclier à bentonite est un engin dont l'utilisation est

soumise à un ensemble de facteurs techniques et économiques contraignants, dont il ressort, en simplifiant, que dans tout le périmètre où les conditions de sous-sol sont difficiles, *il est inopportun de changer de méthode d'exécution.*

Les divers obstacles physiques qu'un tracé de métro automatique léger doit vaincre conduisent dans le cas de Genève à un réseau dont toute la partie centrale où se trouvent les terrains médiocres doit être réalisée en souterrain avec un bouclier à bentonite, les tronçons hors du centre où les terrains sont les meilleurs étant réalisés avec des méthodes traditionnelles. Seuls certains éventuels tronçons en périphérie peuvent être envisagés avec une voie aérienne.

Rapports des coûts

Les coûts de creuse d'un tunnel, type métro automatique léger, peuvent varier dans des proportions considérables selon les conditions géologiques rencontrées et les moyens utilisés. Ainsi, entre une exécution en "terrain convenable" selon les méthodes traditionnelles à l'avancement, avec ou sans tunnelier, et une exécution en terrain médiocre ou difficile nécessitant des injections de consolidation et de la congélation, les coûts de creuse peuvent varier, en moyenne, dans le rapport de 1 à 6. Localement et en conditions très difficiles, ce rapport peut même monter jusqu'à 10. Les coûts de creuse avec un tunnelier équipé d'un bouclier à bentonite se situent dans la moitié inférieure de cette fourchette.

On constate donc que le choix des méthodes et la détermination du tracé, découlant d'une connaissance géologique approfondie et précise du sous-sol, sont extrêmement importants sur le plan financier et pour fixer les conditions d'exécution.

Chapitre 5

LA CONCEPTION D'UN RESEAU DE METRO AUTOMATIQUE LEGER

La conception d'un réseau nouveau de métro automatique léger est conditionnée par trois facteurs essentiels :

- a) ses relations avec le système des transports collectifs à rayon d'action plus étendu (réseaux national, international et régional),
- b) le rôle que l'on souhaite faire jouer à cette nouvelle offre de transport, dans le système des transports de l'agglomération,
- c) la demande de déplacement.

TRANSPORTS COLLECTIFS LOURDS A GENEVE

Genève est desservie par chemin de fer depuis la Suisse et depuis la France. Des projets divers d'amélioration de la qualité de cette infrastructure ferroviaire sont à des stades d'élaboration se situant entre l'idée et l'exécution. Dans la mesure où l'on envisage, avec un métro automatique léger, d'augmenter sensiblement le niveau de performance du transport collectif de l'agglomération, il est nécessaire de faire quelques hypothèses sur l'évolution prévisible du système ferroviaire auquel il devra être raccordé de manière adéquate.

Malgré l'ouverture de la gare CFF de l'aéroport, celle de Cornavin continuera à être le point d'accès principal au réseau ferroviaire. En effet, tous les trains s'y arrêtent : internationaux (grandes lignes), intercitys et directs, régionaux, alors que seuls les trains directs et intercitys touchent l'aéroport.

L'amélioration de la liaison Genève-Paris permettant de faire transiter certaines liaisons internationales supplémentaires par Genève, ou la réalisation d'une liaison entre Cornavin et les Eaux-Vives susceptible d'offrir un itinéraire plus rapide entre Paris et la Haute-Savoie sont des hypothèses qui ne feraient qu'accentuer le rôle prépondérant de Cornavin.

Si l'on peut attendre de la gare de l'aéroport qu'elle prenne le relais de Cornavin, c'est surtout par sa meilleure accessibilité routière et sa plus grande offre en places de stationnement.

La réalisation d'un Réseau express régional (RER) tel que celui étudié par les CFF à la demande de l'Etat de Genève soulève davantage d'interrogations. N'y aurait-il pas double emploi entre un tel réseau et un métro automatique léger ?

La réponse est ambiguë. Il n'y a pas réellement double emploi dans la mesure où un RER offre certes une grande capacité de transport mais une cadence de succession des convois inférieure à l'offre TPG actuelle. De plus, le tracé de la liaison Cornavin-Eaux-Vives, contournant la ville par le sud et à l'ouest à une distance respectable du centre, dessert la périphérie et n'offre qu'un intérêt limité pour le trafic interne à l'agglomération. Une étude sommaire d'affectation de la demande sur le réseau TPG 1990 avec RER complet l'a démontré.

L'idée du mini-RER, c'est-à-dire la possibilité de prolonger dans un premier temps les trains régionaux de Cornavin jusqu'au Bachet-de-Pesay par St-Jean, Claire-Vue et la Praille permet "d'éclater" ce trafic régional sur plusieurs points de l'agglomération. Pour les voyageurs empruntant ensuite les transports publics, cette solution paraît intéressante et mérite d'être prise en compte, car elle devrait, a priori, permettre de réduire le nombre de transbordements.

LIAISON AVEC LA REGION ANNEMASSIENNE, PASSAGE DE LA FRONTIERE

En conclusion de ces réflexions, il apparaît que, pour assurer une bonne intégration d'un métro automatique léger à l'infrastructure des transports publics de Genève, il est :

- impératif de desservir la gare de Genève-Cornavin
- souhaitable d'offrir des interconnexions avec le mini-RER et la ligne SNCF Annemasse-Eaux-Vives.

Le caractère nettement transfrontalier de l'agglomération en particulier dans l'axe Genève-Annemasse soulève la question de l'opportunité d'un réseau de métro automatique léger traversant la frontière. L'examen des problèmes relevant du contrôle policier et douanier conduit rapidement à la conclusion qu'une telle liaison est irréaliste.

LE ROLE D'UN METRO AUTOMATIQUE LEGER DANS LE SYSTEME DES TRANSPORTS COLLECTIFS GENEVOIS

La "Croix ferroviaire" répondait à un besoin d'augmentation de la capacité sur des axes de transport aujourd'hui déjà fortement chargés. Elle ne mettait pas en discussion le réseau existant de bus et trolleybus. Les adaptations de celui-ci seraient mineures et répondraient avant tout à un souci d'ajustement de l'offre. Le concept de "Croix ferroviaire" ne vise pas à créer une hiérarchie dans laquelle les tramways jouent un rôle notablement différent des bus et trolleybus, au-delà de la différence de capacité. Ce point de vue se justifie d'ailleurs parfaitement eu égard à la vitesse commerciale relativement semblable du tramway et des bus ou trolleybus.

Avec un métro automatique léger, il y a nettement différenciation hiérarchique entre l'infrastructure en site propre intégral et les transports de surface.

Quel rôle peut jouer un métro automatique léger ? A cette question, on peut répondre en faisant remarquer qu'en raison de son niveau de performance élevé, un métro automatique léger est en mesure de soutenir une politique active de transport urbain. La question n'est donc pas "quel rôle peut jouer un métro automatique léger ?", mais "quel rôle veut-on lui faire jouer ?".

UNE POLITIQUE DES TRANSPORTS COHERENTE

L'objectif principal est d'obtenir un transfert important de déplacements, en particulier pendulaires, de la voiture individuelle au transport public. Le but poursuivi est de préserver le centre de l'asphyxie dont il est menacé par la saturation de son réseau routier, la pénalisation des transports publics, la pollution, le bruit et la dégradation d'attractivité et de desserte qui en résultent.

Un système de transports publics performant est indispensable à la mise en oeuvre d'une telle politique, mais il n'en est de loin pas l'instrument unique. Une régulation de la circulation permettant de la maintenir à un niveau compatible avec l'environnement urbain et une politique de stationnement adaptée sont des instruments tout aussi importants.

Le concept de réseau de métro automatique léger et sa réalisation dans le temps doivent être adaptés à une telle volonté politique.

REPONSE A LA DEMANDE

Les caractéristiques principales de la demande de déplacements pendulaires (référence 1980) ont été mises en évidence au chapitre 3. La recherche d'une conception de réseau passe nécessairement par une démarche empirique et itérative avec l'aide d'un modèle informatique de simulation. La démarche utilisée peut succinctement être caractérisée comme suit :

Potentiel de demande

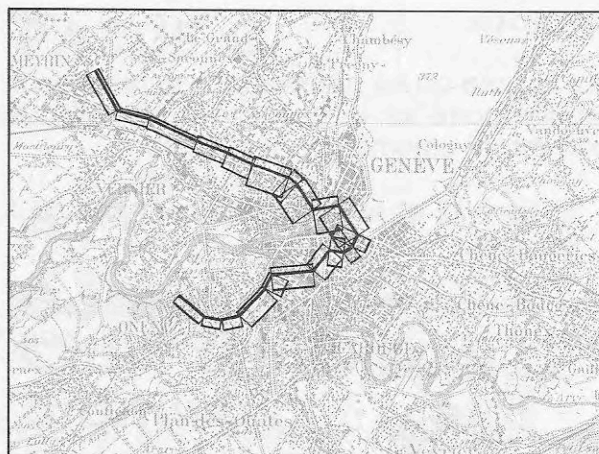
L'ensemble des déplacements pendulaires motorisés (en voiture et en transports publics) a été considéré comme "clientèle" potentielle.

Axes de transport

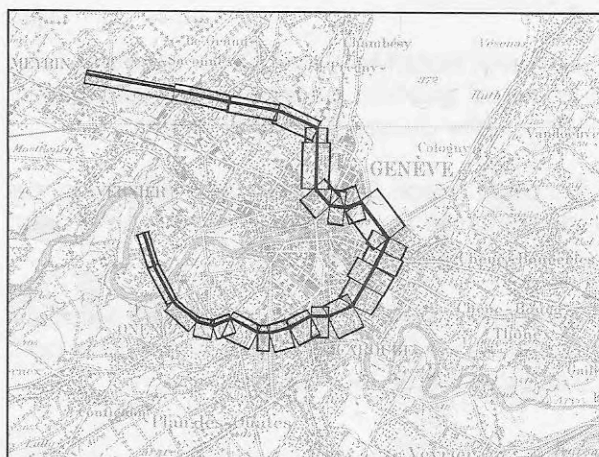
Dans un premier temps de réflexion, on a procédé à des comparaisons entre lignes diamétrales, en partant d'une liaison Meyrin-Onex (axe 1) offrant une certaine analogie avec la Croix ferroviaire.

La comparaison du potentiel de transport des trois axes présentés sur les figures ci-après, exprimé par l'épaisseur du trait, montre l'intérêt qu'il y a (axe 2) de ne pas se limiter à l'itinéraire le plus direct entre la périphérie et l'hypercentre, mais plutôt à drainer au passage le centre de l'agglomération. On obtient ainsi également un meilleur équilibre des charges.

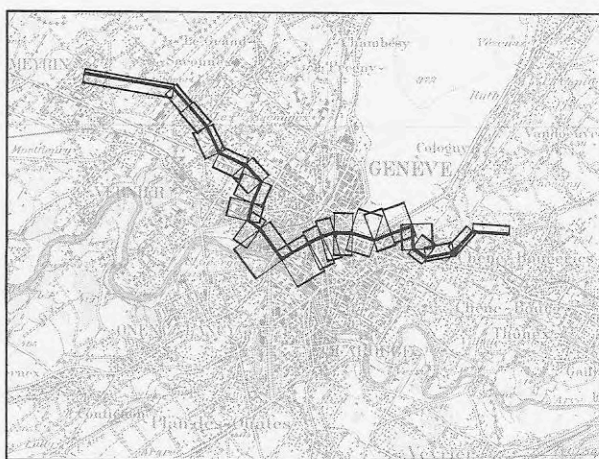
Le contournement du centre par l'ouest (axe 3), créant une nouvelle liaison franchissant le Rhône, recèle également un potentiel de transport important.



Axe 1



Axe 2



Axe 3

Réseaux

Sur la base de ce premier tour, la réflexion a ensuite porté sur la conception de réseaux admettant comme données fixes :

- la ligne 12 et son prolongement jusqu'aux Palettes,
- le mini-RER jusqu'au Bachet-de-Pesay, desservant Sécheron, Cornavin, St-Jean, Claire-Vue et la Praille.

Les enseignements tirés de cette réflexion peuvent être résumés comme suit :

- Une liaison entre les deux rives est indispensable (Pont du Mt Blanc: plus de 90'000 véhicules/jour).
- Les directions Meyrin et Onex recèlent bien les plus grands potentiels et devraient donc être desservies par le métro.
- La priorité doit être accordée à une bonne desserte de la rive droite avec une liaison vers la rive gauche.
- La liaison d'une rive à l'autre peut se situer aussi bien à l'est entre Cornavin et Rive qu'à l'ouest entre St-Jean et la Jonction .

- La demande de déplacements pendulaires résultant de la répartition de la population et des activités dans l'agglomération genevoise ne laisse pas apparaître un unique axe préférentiel pour un transport public performant. C'est pourquoi, afin d'obtenir une véritable amélioration du service des transports publics et de leur utilisation, il faut à terme envisager deux tracés distincts de métro automatique léger afin de couvrir suffisamment l'agglomération.
- En ville de Genève, le métro devrait assurer non seulement une liaison de Cornavin au centre sur la rive gauche, mais aussi une desserte de ce centre ainsi que des quartiers compris entre la Jonction, Plainpalais et l'Hôpital, car ils recèlent un important potentiel de déplacements motorisés.
- Sur la rive droite, les deux tracés envisagés devraient se toucher en dehors des quartiers anciens pour augmenter le nombre de liaisons assurées par le métro en direction de la rive gauche.
- Sur la rive gauche, un problème analogue se pose. Il semble qu'une connexion dans la région de la Jonction soit indispensable pour offrir au trafic venant du nord et de l'ouest des liaisons d'une part en direction du centre-ville, d'autre part vers Plainpalais.

PARTIE C

POURQUOI PEUT-ON COMPARER ?

UNE QUESTION DELICATE

Il est évident qu'il est difficile de comparer deux modes de transport et de les classer dans une hiérarchie. Il y a des différences fondamentales entre les deux modes de transport.

Le premier du côté est celui de l'infrastructure.

Le deuxième est celui de la vitesse commerciale. Les trains peuvent aller plus vite que les tramways. C'est une intention de faire passer le tramway d'un service urbain à un service régional.

Le troisième est celui de la capacité. Les tramways ont une capacité limitée, tandis que les trains peuvent transporter un grand nombre de passagers.

Enfin, le "Croc ferroviaire" est une solution de compromis. Il est plus rapide que le tramway, mais moins cher que le train. Il est conçu pour répondre à un besoin de transport urbain et régional.

Le "Croc ferroviaire" est un mode de transport qui combine les avantages du tramway et du train. Il est plus rapide que le tramway, mais moins cher que le train. Il est conçu pour répondre à un besoin de transport urbain et régional.

Le "Croc ferroviaire" est un mode de transport qui combine les avantages du tramway et du train. Il est plus rapide que le tramway, mais moins cher que le train. Il est conçu pour répondre à un besoin de transport urbain et régional.

Enfin, dans la mesure du possible, il est préférable de développer une infrastructure adaptée à chaque mode de transport.

Comparaison Croix ferroviaire (tramway) / Métro automatique léger

Le premier du côté est celui de l'infrastructure.

Le deuxième est celui de la vitesse commerciale.

Le troisième est celui de la capacité.

Enfin, le "Croc ferroviaire" est une solution de compromis.

LE CONCEPT DE CROC FERROVIAIRE

Le "Croc ferroviaire" est un mode de transport qui combine les avantages du tramway et du train. Il est plus rapide que le tramway, mais moins cher que le train. Il est conçu pour répondre à un besoin de transport urbain et régional.

1- Le "Croc ferroviaire" est un mode de transport qui combine les avantages du tramway et du train. Il est plus rapide que le tramway, mais moins cher que le train. Il est conçu pour répondre à un besoin de transport urbain et régional.

2- Le "Croc ferroviaire" est un mode de transport qui combine les avantages du tramway et du train. Il est plus rapide que le tramway, mais moins cher que le train. Il est conçu pour répondre à un besoin de transport urbain et régional.

PAGE BLANCHE

Chapitre I

QUE PEUT-ON COMPARER ?

UNE QUESTION DELICATE

Cette question est extrêmement délicate, car entre "Croix ferroviaire" et "Métro automatique léger", il y a des différences intrinsèques qui rendent difficile une comparaison.

Au niveau du concept déjà, la différence est de taille.

La "Croix ferroviaire" n'est qu'une adaptation du réseau TPG existant pour offrir une capacité satisfaisante; c'est une extension de l'infrastructure de tramway déjà en service aujourd'hui.

Le "Métro automatique léger", par contre, est une infrastructure entièrement nouvelle, en site propre, d'un niveau de performance supérieur qui, a priori, postule une organisation nouvelle du réseau des transports publics.

Par ailleurs, la "Croix ferroviaire" est une donnée du problème. Elle répond aux objectifs qui lui ont été assignés dans le cadre du Plan directeur des transports.

Le réseau du "Métro automatique léger" étant à créer de toutes pièces, sa conception est nécessairement le fruit d'une réflexion reprise à la base, visant à mettre en rapport, de la manière la plus judicieuse, les qualités intrinsèques du système nouveau et la demande de transport identifiée.

Il aurait été parfaitement déplacé de se satisfaire, pour simplement permettre une comparaison plus aisée, d'une confrontation du tramway et du métro sur un même tracé. Le seul fait que l'on sache qu'il y a une différence de coût unitaire importante entre les deux systèmes justifie que l'on vise des objectifs plus élevés avec celui qui est le plus coûteux.

Finalement, dans la mesure où l'on envisage de créer une nouvelle infrastructure avec un

"Métro automatique léger", il est indispensable d'examiner la faisabilité d'un réseau cohérent, capable de desservir à terme l'entier de l'agglomération genevoise. Se limiter à une première étape de réseau sans se préoccuper de son développement possible serait irresponsable.

Pour néanmoins comparer des choses qui soient comparables, il faut en premier lieu se donner une base de comparaison sous la forme de réseaux de transport public assurant sur chacune des lignes les composant un niveau de prestation équivalent du point de vue de la capacité, d'une part, et une fréquence minimale des convois acceptable, d'autre part.

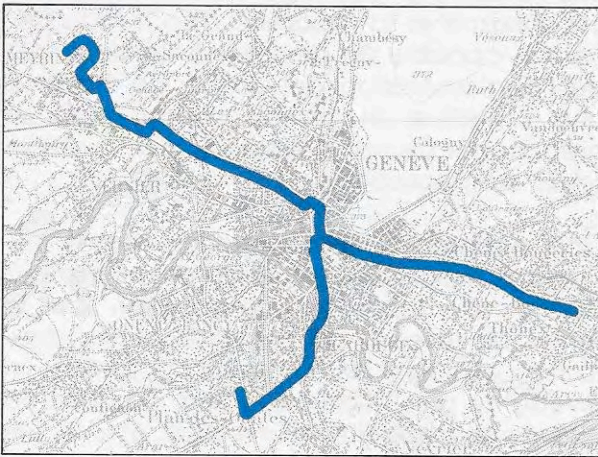
Sur la base de ces réseaux, on pourra comparer :

- l'attractivité respective de chaque solution,
- les coûts.

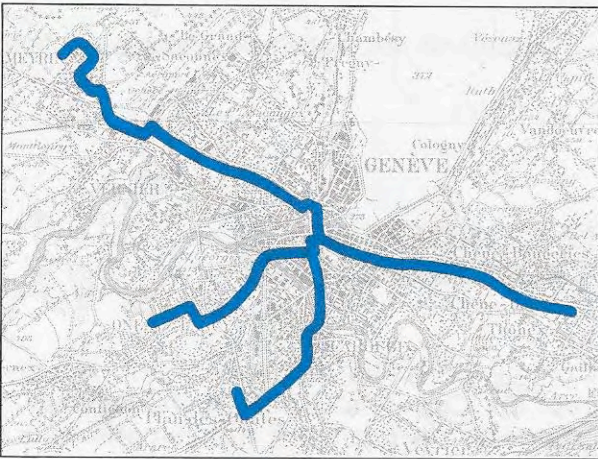
LE CONCEPT DE CROIX FERROVIAIRE

Comme on l'a vu précédemment, le concept de "Croix ferroviaire" est une réponse à un besoin de capacité supplémentaire sur deux "corridors" de transport convergeant vers le centre : le "corridor" de Meyrin et celui d'Onex. Dans l'éventualité d'une réalisation progressive de cette extension du réseau de tramway, deux étapes principales ont été retenues dans le cadre des études achevées en avril 1985.

- 1) Le T-ferroviaire complétant l'infrastructure de la ligne 12, prolongée jusqu'aux Palettes par une branche nouvelle entre Bel-Air et Meyrin.
- 2) La Croix ferroviaire (ci-après X-ferroviaire) étendant le réseau du T-ferroviaire jusqu'à Onex.



T-ferroviaire

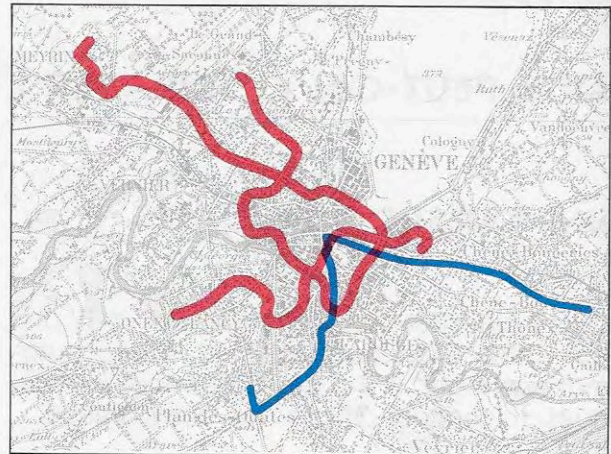


Croix-ferroviaire

Ne réaliser que le T-ferroviaire et poursuivre la desserte du "corridor" Lancy-Onex-Bernex par un réseau de bus approprié ne serait pas une hérésie du point de vue conceptuel en faisant abstraction de la demande.

LE CONCEPT DE METRO AUTOMATIQUE LEGER

Dans la mesure où toute l'infrastructure est nouvelle, la référence est nécessairement un réseau complet de métro, tel qu'il a été établi précédemment (R-métro).



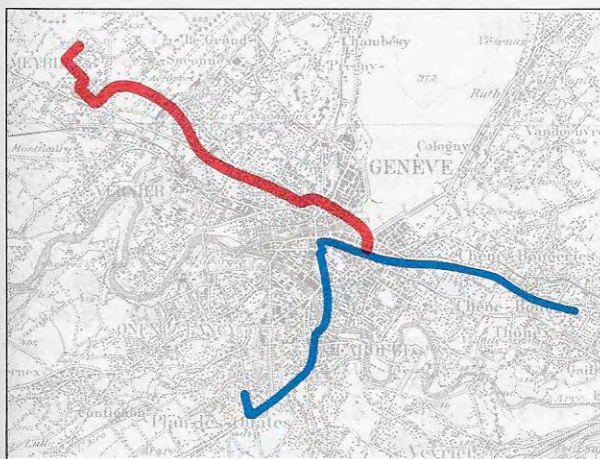
R-Métro

métro ———
tramway ———

Sa réalisation par étapes successives ne se pose pas dans les mêmes termes que celle du réseau de tramway. En effet, il est possible de choisir une première étape en toute indépendance, ce qui n'est pas le cas du tramway qui doit nécessairement partir de la ligne 12 existante.

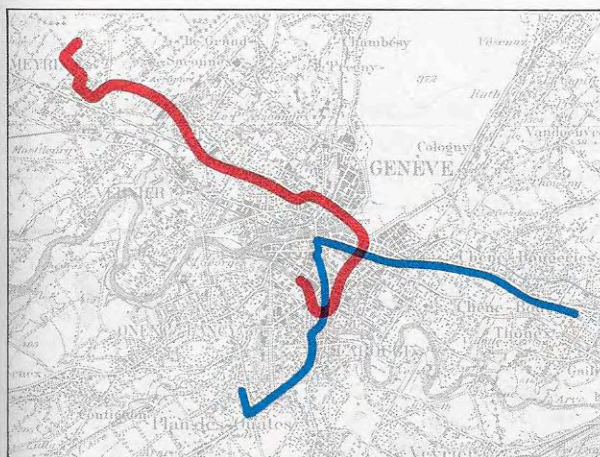
L'étude de la réalisation par étapes d'un réseau de métro automatique léger dépend d'un ensemble de facteurs qui ne peuvent pas être traités en détail dans le cadre de la présente étude. Il est néanmoins nécessaire d'admettre deux hypothèses pour la comparaison des états intermédiaires. C'est pourquoi on a pris en considération les deux états suivants :

- 1) Le I-Métro, soit une liaison reliant Rive (point d'interconnexion avec le tramway) et Meyrin,
- 2) Le J-Métro, soit le I-Métro, prolongé tangentiellement au centre-ville qui est ainsi contourné par l'est et le sud par une ligne interceptant toutes les radiales pénétrant au centre sur la rive gauche, à l'exception du Pont de St-Georges.



I-Métro

métro ———
tramway ———



J-Métro

métro ———
tramway ———

I-Métro et J-Métro sont donc des *états de comparaison* qui ne doivent pas être considérés comme des *étapes de réalisation*.

LES NIVEAUX DE COMPARAISON

Il est possible de comparer T-ferroviaire et I-Métro, qui tous deux modifient le réseau de transports publics de la même manière en créant une nouvelle liaison entre la ligne de tramway existante et Meyrin. La connexion entre le métro et le tramway à Rive plutôt qu'à Bel-Air (cas du T-ferroviaire) est imposée par la conception de réseau de métro qui a été retenue.

Le J-Métro est un état de réseau servant à mettre en évidence l'effet sur l'attractivité du système d'une extension relativement modeste (moins de 25 % de la longueur) du I-Métro.

X-ferroviaire et R-Métro ont des caractéristiques trop différentes pour permettre une réelle comparaison. Il n'empêche qu'il est indispensable d'analyser tant les prestations offertes par ces deux réseaux que les coûts qu'elles engendrent. L'appréciation qui pourra en être faite devra être relativisée en conséquence.

Chapitre 2

LES RESEAUX, BASES DE LA COMPARAISON

LES RESEAUX

Six variantes de réseaux ont été considérées. Leur dénomination a été choisie en fonction de la configuration du réseau de

tramway ou de métro qui caractérise chacune d'elles.

Il s'agit de :

- Variante de base
- Variante T-Tram
- Variante X-Tram
- Variante I-Métro
- Variante J-Métro
- Variante R-Métro

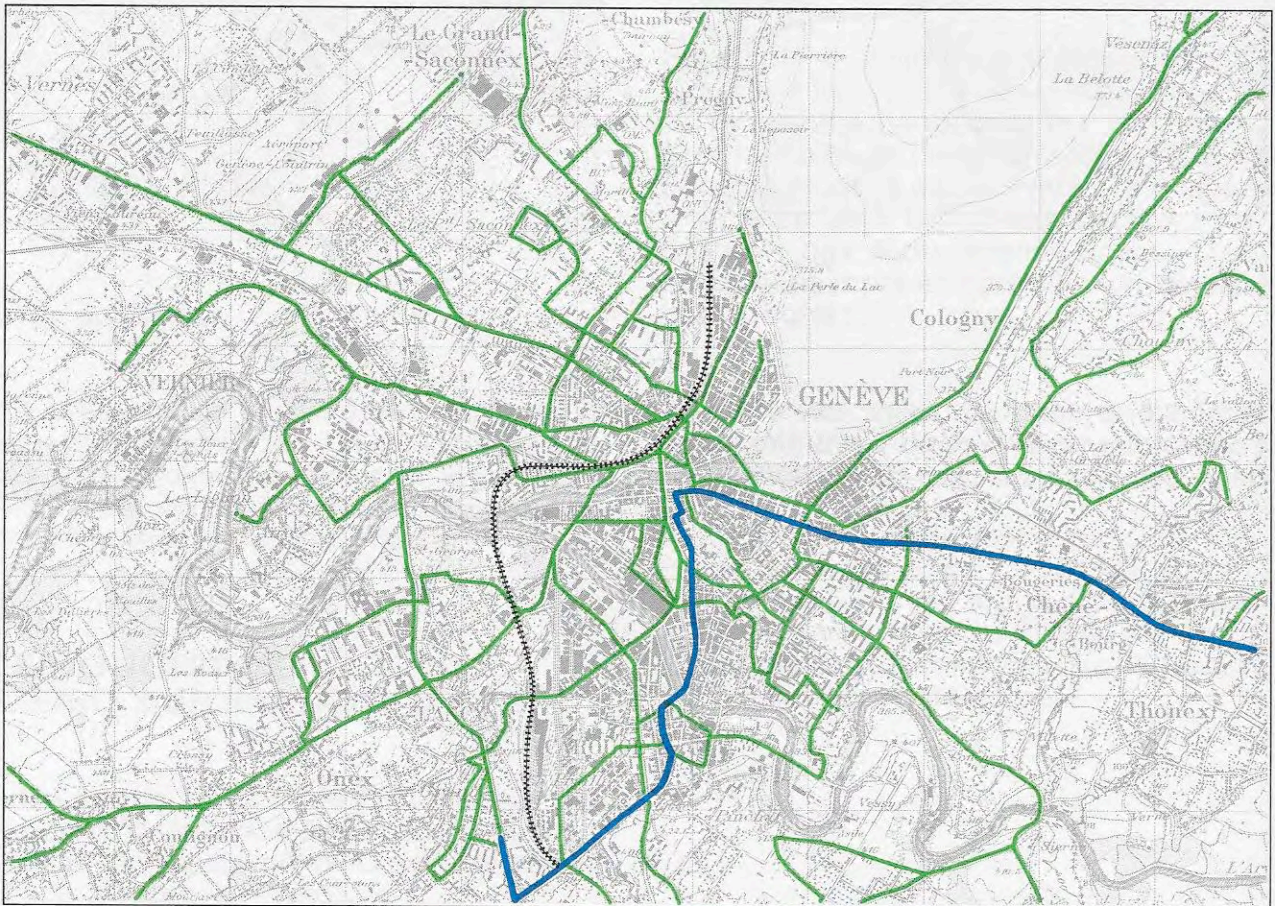
Ces six variantes de réseaux ont en commun un mini-RER, soit une offre de 4 trains CFF de 500 places chacun par sens à l'heure de pointe entre Sécheron et le Bachet-de-Pesay, à même de jouer pour certaines liaisons un rôle de transport urbain.

VARIANTE DE BASE

Ce réseau se compose :

- du mini-RER (.....),
- de la ligne de tramway no 12 prolongée jusqu'aux Palettes (—),

auxquels se superposent les lignes de trolleybus et bus du réseau TPG 1990, selon la réorganisation prévue par le Plan directeur des transports (—).



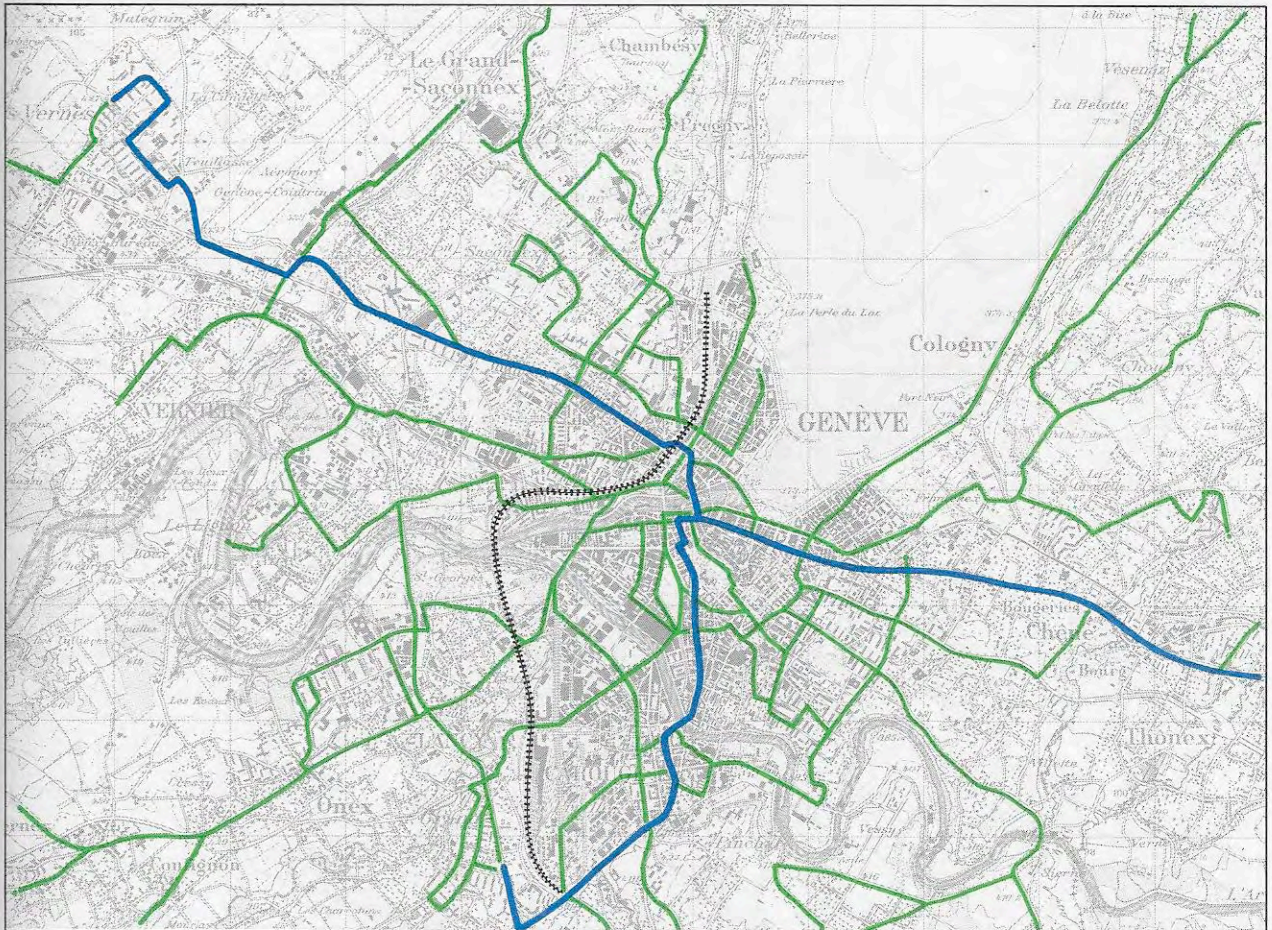
VARIANTE T-TRAM

Ce réseau se compose :

- du mini-RER (.....),
- des lignes de tramway (——) suivantes, avec une fréquence de 6 minutes aux heures de pointe :
 - Palettes-Moillesulaz
 - Rondeau-Meyrin
 - Meyrin-Moillesulaz
- d'un réseau complémentaire de trolleybus

et d'autobus (—) ayant subi les adaptations suivantes :

- la ligne 15 (Rond-Point de Plainpalais-Meyrin-CERN) est maintenue seulement entre le terminus du tram à Meyrin et le CERN
- la ligne 23 (Avanchets-Place Neuve) est supprimée complètement en raison de la capacité et de la fréquence offerte par le tram sur le même itinéraire
- les autres lignes ne sont pas modifiées par rapport au réseau TPG 1990, notamment le trolleybus 10 qui subsiste en parallèle au tram de Bel-Air au Bouchet.

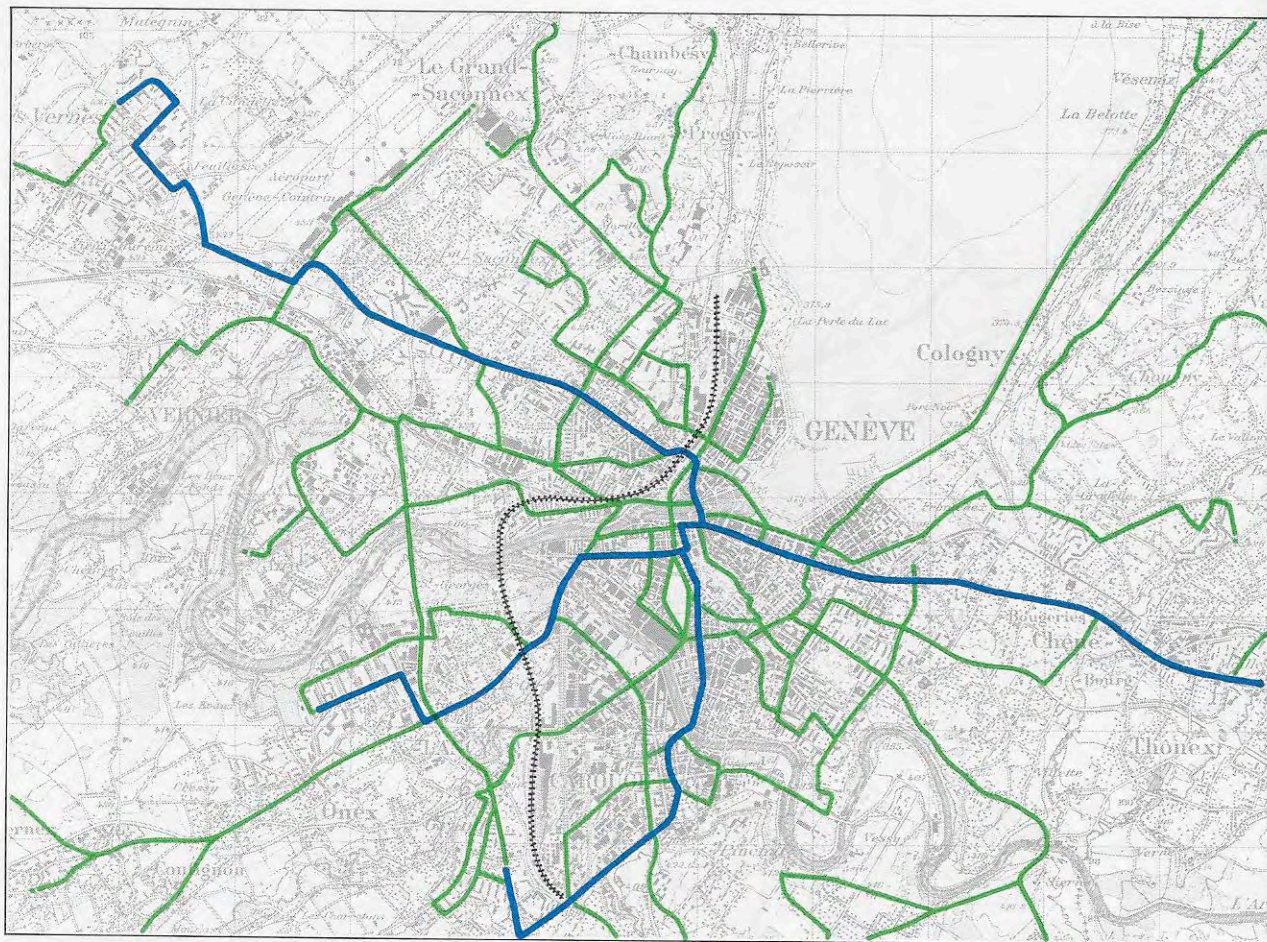


VARIANTE X-TRAM

Ce réseau se compose :

- du mini-RER (.....)
- des lignes de tramway (—) suivantes, avec une fréquence de 6 minutes aux heures de pointe :
 - Onex-Pré-Bois
 - Palettes-Moillesulaz
 - Rondeau-Meyrin
 - Meyrin-Moillesulaz
- d'un réseau complémentaire de trolleybus et d'autobus (—) ayant subi les adaptations suivantes par rapport à T-Tram :

- le tram Onex-Pré-Bois remplace le trolleybus 10
- pour maintenir un service entre le Bouchet et l'aéroport par l'avenue Casai, c'est l'itinéraire de la ligne 14 qui est adapté
- un rabattement sur le tram à Pré-Bois est prévu aussi bien depuis le secteur de l'aéroport que depuis le village de Vernier
- Vernier est desservi par un véhicule sur deux de la ligne 6, car les autres sont dirigés vers Le Lignon par la route du Bois-des-Frères
- les lignes de campagne K et L peuvent être interrompues à la hauteur des Moilles et leurs passagers transférés sur le tram.

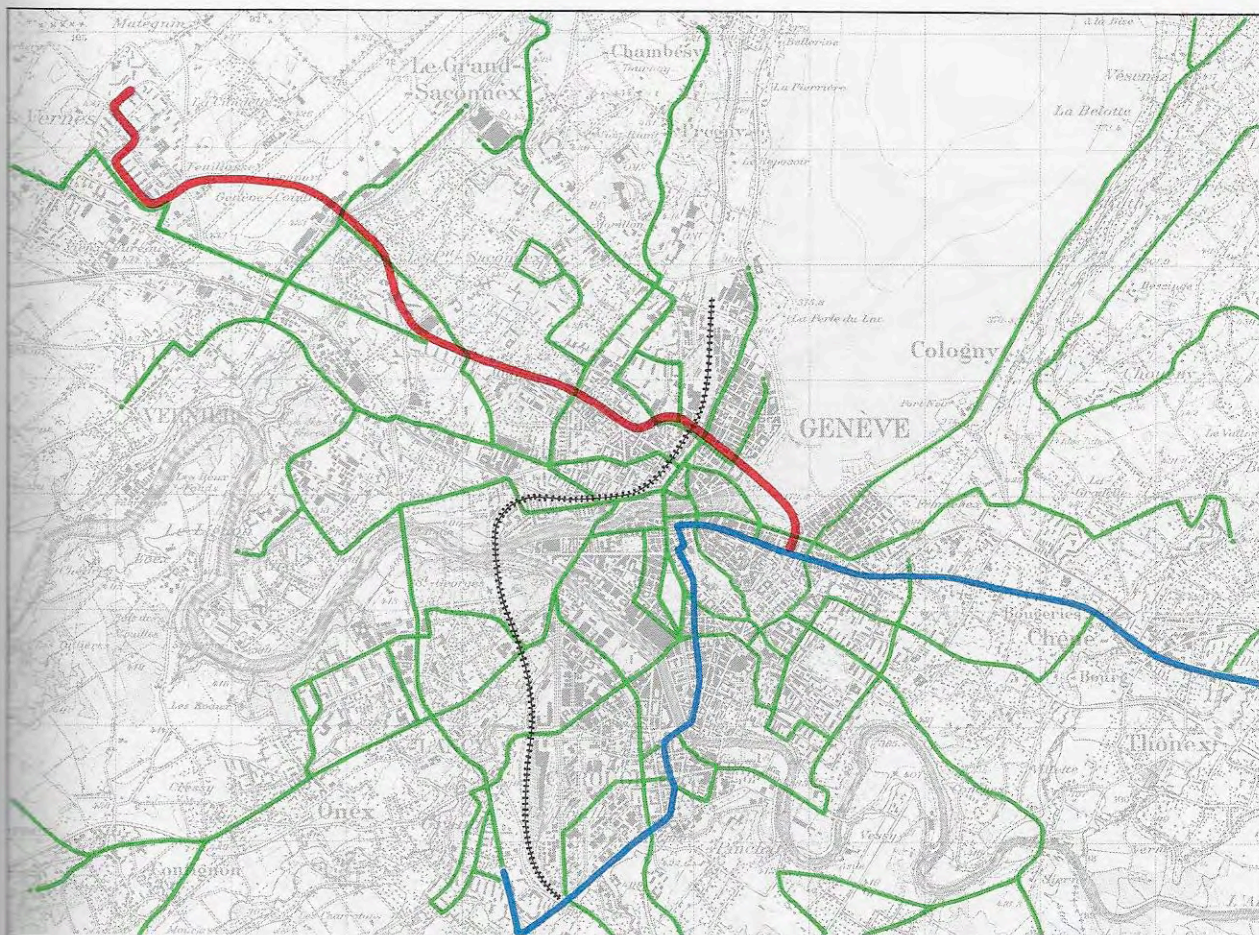


VARIANTE I-METRO

Ce réseau se compose :

- du mini-RER (.....)
- d'une ligne de métro Meyrin "Champs-Frêchets" - Rive (—) avec, à certaines heures des jours ouvrables et samedis un doublement de la fréquence sur une partie du tracé entre Les Avanchets et Rive
- de la ligne de tramway no 12 prolongée jusqu'aux Palettes (—)
- d'un réseau complémentaire de trolleybus et d'autobus (—) ayant subi les adaptations suivantes par rapport au réseau de base:

- le bus 15 subsiste entre le CERN, Meyrin et la station de métro de Balexert pour maintenir la desserte des zones situées le long de la route de Meyrin, laissées à l'écart par le tracé du métro
- les lignes 6 et 14 ainsi que le rabattement sur le métro depuis Vernier sont comme pour la variante X-Tram
- la branche Onex-Cornavin de la ligne 10 est connectée avec la ligne E car la branche du 10 vers le secteur de l'aéroport est reprise par le métro
- la fréquence du tram 12 est augmentée de 5 à 4 minutes ce qui représente le maximum pour l'exploitation d'une telle ligne et s'approche ainsi des services offerts dans les variantes T et X-Tram.



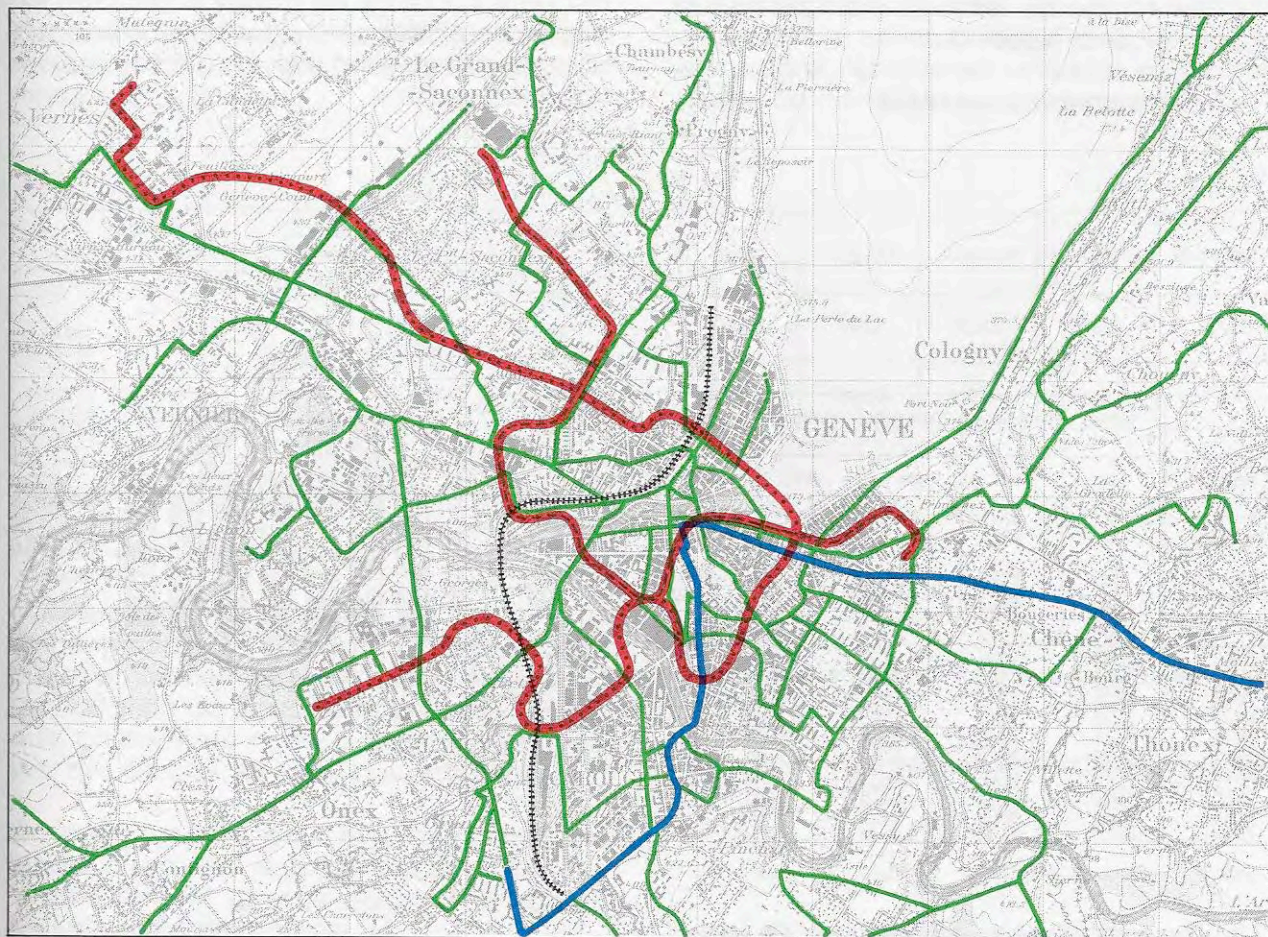
VARIANTE R-METRO

Ce réseau se compose :

- du mini-RER (.....)
- d'une ligne de métro Meyrin "Champs-Frêchets" - Onex "Cité" (—) avec, à certaines heures des jours ouvrables et samedis un doublement de la fréquence sur une partie du tracé entre les Avanchets et la Praille
- d'une ligne de métro Palexpo - Jonction - Gare des Eaux-Vives (—) avec, à certaines heures des jours ouvrables et samedis un doublement de la fréquence sur une partie du tracé entre Vairembé et la Gare des Eaux-Vives
- de la ligne de tramway no 12 (—) prolongée jusqu'aux Palettes avec une fréquence abaissée à 4 minutes

- d'un réseau complémentaire de trolleybus et d'autobus (—) ayant subi les adaptations suivantes par rapport à I et J-Métro :

- la desserte par métro en direction du Petit et du Grand-Saconnex permet de supprimer la ligne E et de modifier le tracé de la ligne 3 afin qu'elles soient complémentaires au métro
- la desserte par métro d'Onex via les Acaïas permet de supprimer la ligne 10 (Onex-Bel-Air) et la ligne 4 (Voirets-Jardin Botanique) dans son ensemble
- un rabattement est organisé entre Les Voirets et le métro à La Praille
- le trolleybus 2 est interrompu à Bel-Air
- les lignes de campagne K et L sont rabat-tues sur le métro à Onex
- les lignes de campagne A et B sont rabat-tues sur le métro à la Gare des Eaux-Vives.



Chapitre 3

LES PRESTATIONS

LES CARACTERISTIQUES DE L'OFFRE

L'offre de transport prise comme hypothèse de travail a été modulée dans le temps selon le type de jour et l'heure de la journée.

On a considéré 4 types de jours :

- 200 jours ouvrables "normaux". Il s'agit des jours ouvrables, non compris ceux de la période estivale (juillet/août);
- 45 jours ouvrables "d'été". Jours ouvrables de juillet et août;
- 55 "samedis". Il s'agit des samedis auxquels on ajoute les jours ouvrables situés entre Noël et Nouvel-An;
- 65 dimanches et jours fériés.

Pour chaque type de jour, l'offre est modulée en cours de journée. En admettant un service sur 18 heures, de 06h00 à 24h00, les journées sont découpées, selon leur type, en trois à six périodes, avec un niveau d'offre variable.

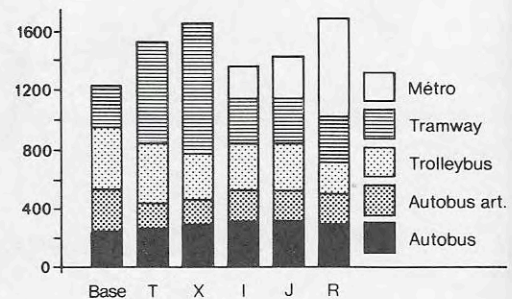
L'offre de transport a été établie pour chaque variante en adaptant celle de la variante de base, par restructuration ou réduction, si possible, du réseau de bus afin de tenir compte de l'extension du tramway ou de la construction du métro. Remarquons que la réduction n'est souvent pas envisageable, car l'augmentation de l'attractivité de l'offre crée une demande supplémentaire qui se répercute également sur le réseau de bus.

PLACES OFFERTES

Comme le montre le tableau ci-après, l'extension du tramway ou la construction d'un métro conduit à une réduction relativement modeste de l'offre de transport par bus, exprimée en places x km / année, et à une sensible augmentation de l'offre totale des transports publics.

| | Métro | Tramway | Trolleybus | Autobus* articulé | Autobus* | TOTAL |
|---------|-------|---------|------------|-------------------|----------|-------|
| BASE | 0 | 290 | 405 | 291 | 249 | 1'235 |
| T-TRAM | 0 | 691 | 405 | 166 | 268 | 1'530 |
| X-TRAM | 0 | 890 | 309 | 164 | 293 | 1'656 |
| I-METRO | 222 | 306 | 310 | 206 | 320 | 1'363 |
| J-METRO | 284 | 306 | 310 | 206 | 320 | 1'425 |
| R-METRO | 680 | 306 | 221 | 196 | 293 | 1'696 |

* non comprises les lignes de campagne dont l'offre varie très peu d'une variante à l'autre



Places offertes (millions de places x km / année)

PRESTATIONS D'EXPLOITATION

Des caractéristiques choisies pour l'offre résultent, sur les six réseaux considérés, les prestations d'exploitation annuelles suivantes:

| | METRO | TRAMWAY | TROLLEYBUS | AUTOBUS * |
|---------|-------------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| BASE | 0 | 2'233'000 | 3'682'000 | 7'753'000 |
| T-TRAM | 0 | 5'319'000 | 3'682'000 | 6'850'000 |
| X-TRAM | 0 | 6'848'000 | 2'807'000 | 7'098'000 |
| I-METRO | 1'433'000 | 2'351'000 | 2'823'000 | 7'862'000 |
| J-METRO | 1'832'000 | 2'351'000 | 2'823'000 | 7'862'000 |
| R-METRO | 4'390'000 | 2'351'000 | 2'006'000 | 7'349'000 |
| | rames x km par an | motrices x km par an | trolleybus x km par an | autobus x km par an |

* y compris les lignes de campagne

Prestations kilométriques annuelles

Ces prestations exigent le parc de matériel roulant suivant, compte tenu de la réserve estimée à 20 % environ.

| | Rames métro | Motrices tramway | Trolleybus | Autobus |
|---------|-------------|------------------|------------|---------|
| BASE | 0 | 40 ** | 83 | 184 |
| T-TRAM | 0 | 98 | 83 | 156 |
| X-TRAM | 0 | 128 | 65 | 166 |
| I-METRO | 17 | 44 | 65 | 165 |
| J-METRO | 22 | 44 | 65 | 165 |
| R-METRO | 53 | 44 | 65 | 140 |

** En admettant une vitesse commerciale de 20 km/h sur la ligne 12

Besoins en matériel roulant

En ne considérant que les trolleybus et autobus et en admettant que le parc nécessaire à l'exploitation de la variante de base est acquis, on constate qu'il y a réduction progressive des besoins en trolleybus et autobus.

On peut prendre pour hypothèse vraisemblable que cette réduction pourrait se faire "naturellement" dans le cadre d'un non-renouvellement du matériel.

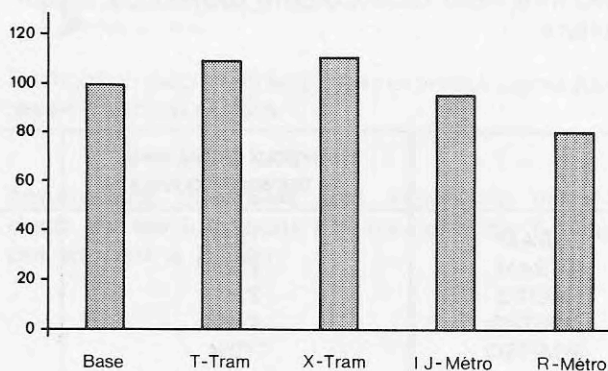
Pour éviter toute confusion, on précisera encore que le nombre d'autobus est celui nécessaire à couvrir les besoins des services réguliers de l'horaire publié, à l'exclusion de toute autre prestation.

En ce qui concerne les tramways, les besoins exprimés pour le réseau de base sont inférieurs au nouveau parc de 46 motrices commandées. Cela s'explique par le fait que l'on a pris en compte le nouveau temps de parcours de la ligne 12, après amélioration, ce qui permet de gagner au moins six motrices.

Ainsi, les variantes T-Tram et X-Tram nécessitent l'acquisition de 52, respectivement 82, nouvelles motrices. Ces nombres sont inférieurs aux prévisions de l'étude de la Croix ferroviaire, car il a été admis que les mesures envisagées pour améliorer la régularité de circulation sur la ligne Palettes-Moillesulaz (sites propres, priorités, etc.) pouvaient également être prises sur les nouvelles lignes à réaliser.

Finalement, pour assurer les services décrits ci-dessus, y compris celui des lignes de campagne, les diverses variantes exigent les heures de conduite annuelles suivantes :

| BASE | T-TRAM | X-TRAM | I-J-METRO | R-METRO |
|--------|--------|--------|-----------|---------|
| 901.9 | 990.6 | 1005.3 | 869.1 | 729.3 |
| 100.0% | 109.8% | 111.5% | 96.4% | 80.9% |



Heures de conduite annuelles (1000 h/an)

Chapitre 4

ATTRACTIVITE

CHOIX DU MODE DE DEPLACEMENT

La mise en place d'une nouvelle offre de transport public, plus attractive, a pour but premier d'inciter à un changement de mode de déplacement, de la voiture individuelle au moyen de transport en commun.

Il est notoire qu'une amélioration de l'offre de transport public ne peut changer de manière très sensible à elle seule le comportement des pendulaires. D'autres facteurs interviennent, plus particulièrement l'offre en places de stationnement, que ce soit au lieu de travail ou au domicile.

Le pendulaire disposant d'une place de stationnement à son lieu de travail, gratuite ou d'un prix qu'il considère comme acceptable, est incité à se déplacer en voiture. Les pendulaires, et ils sont nombreux dans certains quartiers du centre-ville, qui ne disposent pas d'une possibilité de stationnement de longue durée pour leur véhicule à leur domicile, sont contraints de le déplacer pendant la journée. Ils le font en y recourant pour se rendre à leur lieu de travail.

Une politique cohérente de gestion du stationnement est certainement le moyen le plus efficace d'agir sur le choix du mode de déplacement en milieu urbain. Le transport public intervient alors comme moyen de substitution.

En l'absence de telles mesures, ce ne sont que les difficultés de circulation qui ont un effet dissuasif sur les usagers de la voiture individuelle. Le facteur finalement déterminant pour le choix du mode est alors le temps de déplacement "généralisé", c'est-à-dire y compris les trajets initiaux et finals à pied, entre le domicile et le lieu de travail, ainsi que le temps nécessaire à la recherche d'une place de stationnement.

La fonction mathématique dont il a été fait usage pour modéliser le comportement des usagers est la résultante d'une analyse approfondie et de tests de cohérence concluants.

Il est important de relever qu'à temps de déplacement équivalent cette fonction considère de la même manière tramway et métro. Elle ne fait pas intervenir de facteur psychologique ni la notion de confort favorable au métro.

Dans l'étude de faisabilité de la Croix ferroviaire, on avait estimé l'accroissement potentiel du trafic sur les lignes de tramway de façon plus simple.

Les calculs relatifs à l'attractivité ont pris comme élément de référence le réseau dit "de base" défini précédemment en y appliquant *le trafic tel qu'il était en 1980 pour les pendulaires résidant dans le canton de Genève uniquement*, soit 137'205 "motorisés" dont 49'190 usagers des transports publics à la période de pointe du matin.

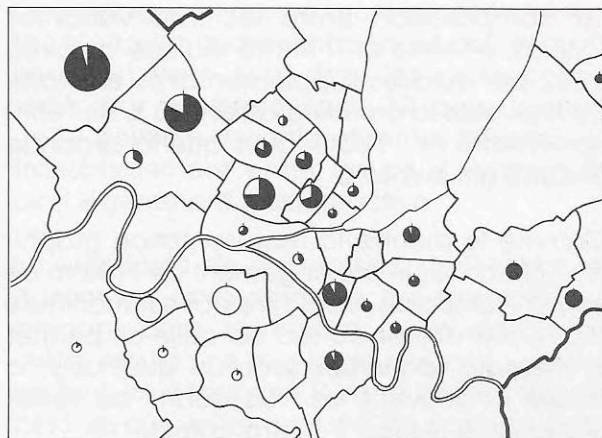
Les résultats résumés dans le tableau ci-après mettent en évidence l'augmentation de l'attractivité imputable à chaque variante étudiée par rapport à la variante de base.

| | Nouveaux pendulaires en transports publics | Accroissement en % des 137'205 motorisés | Accroissement en % des 49'190 usagers des TC |
|---------|--|--|--|
| T-TRAM | 1'827 | 1.3% | 3.7% |
| X-TRAM | 2'528 | 1.8% | 5.1% |
| I-METRO | 3'262 | 2.3% | 6.6% |
| J-METRO | 4'890 | 3.5% | 9.9% |
| R-METRO | 11'034 | 8.0% | 22.4% |

COMPARAISON DES VARIANTES T-TRAM ET X-TRAM

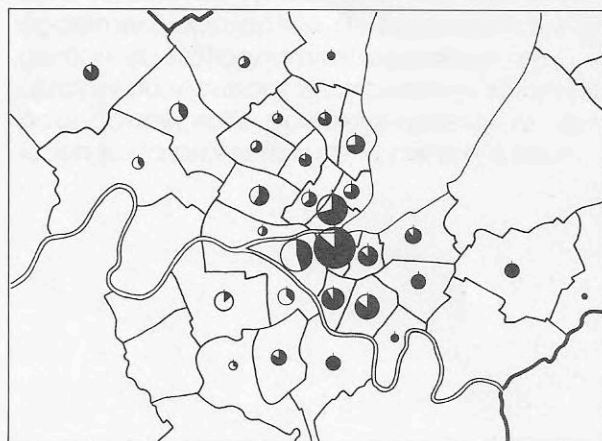
La comparaison de ces deux variantes montre que la première (+ 1827 nouveaux déplacements pendulaires en transports publics) atteint déjà le 72 % de l'effet de la seconde (+ 2528). La représentation graphique ci-contre confirme l'impression que la variante T-Tram offre une amélioration sensible alors que X-Tram n'apporte que quelques compléments, avec des nuances locales.

Il apparaît au travers de cette comparaison que dans l'hypothèse d'une extension du réseau de tramway, une "Croix ferroviaire" n'est probablement pas le meilleur aboutissement.



— Nouveaux pendulaires X-Tram
 — Part de T-Tram

Origine (domicile) des nouveaux pendulaires en transports publics



— Nouveaux pendulaires X-Tram
 — Part de T-Tram

Destination (lieu de travail) des nouveaux pendulaires en transports publics

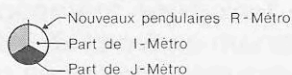
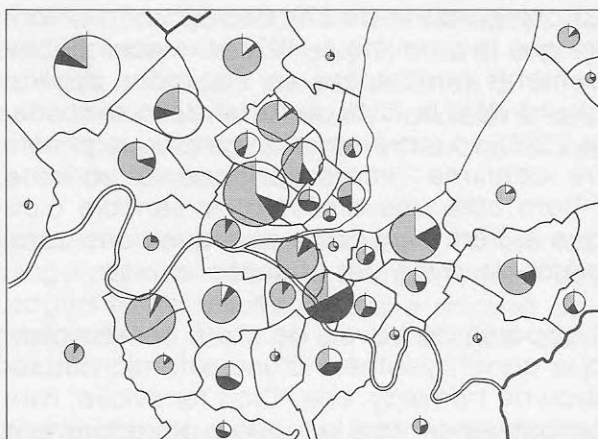
Pendulaires transférés des transports individuels sur les transports publics, part de T-Tram par rapport à X-Tram

COMPARAISON DES VARIANTES I-MÉTRO, J-MÉTRO ET R-MÉTRO

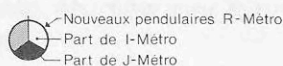
La comparaison entre les trois variantes I-Mé debate, J-Mé debate et R-Mé debate indique qu'avec 3'262 pendulaires supplémentaires en transports publics la première atteint 30 % de l'effet de R-Mé debate (+ 11'034), alors que la seconde (+ 4'890) arrive à 44 %.

Comme le montre la représentation graphique ci-contre, le prolongement de I-Mé debate de Rive à Plainpalais, dont l'impact est manifeste au centre-ville et au sud de celle-ci, permet d'atteindre, dans ces secteurs au moins, la moitié et souvent les trois quarts de l'effet qu'aurait le réseau R-Mé debate complet.

Ce constat met en évidence l'intérêt d'une recherche de tracés judicieux capables d'apporter une réelle plus-value sur des relations où il existe une demande potentielle importante.



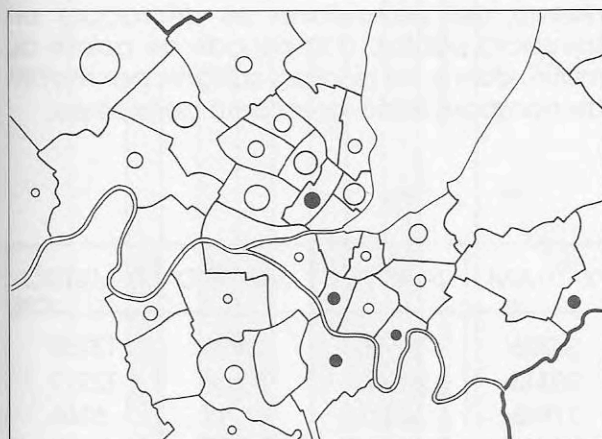
Origine (domicile) des nouveaux pendulaires en transports publics



Destination (lieu de travail) des nouveaux pendulaires en transports publics

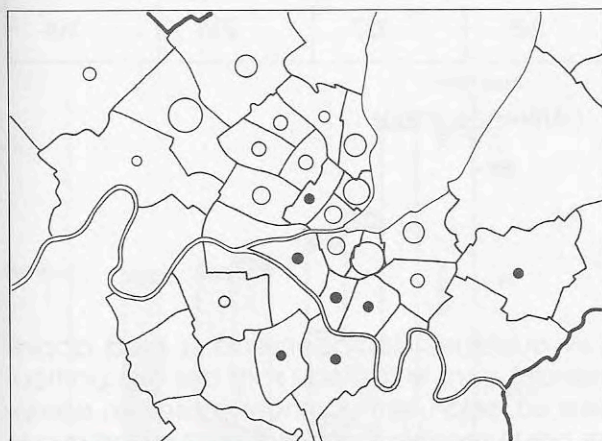
Pendulaires transférés des transports individuels sur les transports publics et part respective de I et J-Mé debate par rapport à R-Mé debate

COMPARAISON DES VARIANTES I-METRO ET T-TRAM



- Supériorité d'attractivité T-Tram
- Supériorité d'attractivité I-Métro

Différence d'attractivité considérée à l'origine (domicile) des pendulaires transférés sur les transports publics



- Supériorité d'attractivité T-Tram
- Supériorité d'attractivité I-Métro

Différence d'attractivité considérée à la destination (lieu de travail) des pendulaires transférés sur les transports publics

Différences d'attractivité entre les variantes I-Métro et T-Tram

Le graphique ci-contre montre que la variante I-Métro est quasiment partout plus attractive que T-Tram, sauf dans les secteurs desservis par l'actuelle ligne 12 pour lesquels cette dernière variante offre des liaisons sans transbordement entre les deux rives et est ainsi légèrement plus attractive.

La supériorité de l'attractivité de R-Métro sur X-Tram est écrasante, ce qui n'est pas surprenant dans la mesure où le réseau de métro assure une plus large desserte territoriale, tant en périphérie (Grand et Petit-Saconnex) qu'au centre, et crée en particulier une liaison nouvelle entre les deux rives (St-Jean-Jonction) que le tramway est dans l'incapacité de réaliser.

On rappellera que ces résultats sont relatifs aux pendulaires de 1980 et ne tiennent pas compte de l'accroissement de la population et des emplois depuis lors, ni des modifications futures de l'occupation du sol. Ils font également abstraction de toute politique de gestion du stationnement pénalisant les pendulaires ou réduisant la circulation individuelle pour donner suite aux exigences de la législation sur la protection de l'environnement.

CHARGE DES RESEAUX

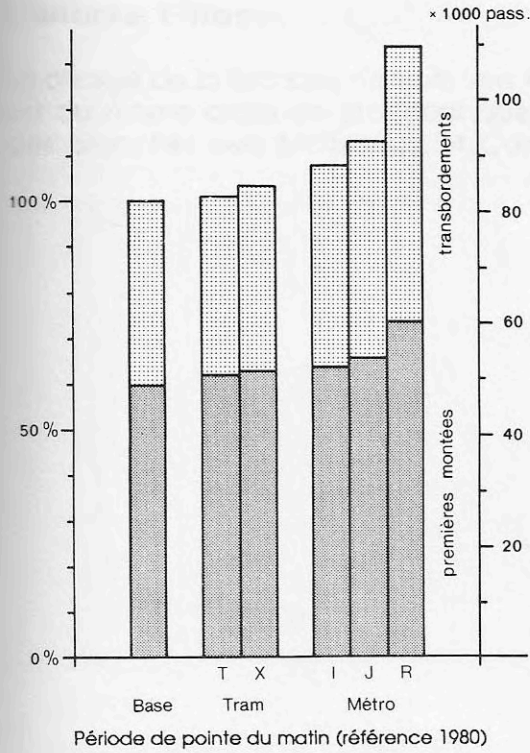
L'affectation sur les différentes variantes de réseau des pendulaires se déplaçant en transports publics, à la période de pointe du matin, donne les résultats suivants par moyen de transport, selon la variante considérée.

| | BASE | T-TRAM | X-TRAM | I-METRO | J-METRO | R-METRO |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Tram | 12'014 | 22'909 | 28'326 | 14'986 | 12'993 | 13'253 |
| Trolleybus | 25'630 | 23'410 | 20'313 | 20'168 | 19'668 | 12'279 |
| Autobus articulés | 20'984 | 13'764 | 11'946 | 14'271 | 14'118 | 6'656 |
| Autobus | 20'822 | 20'562 | 21'561 | 21'652 | 20'838 | 18'967 |
| Train | 1'753 | 1'726 | 1'821 | 2'167 | 2'141 | 2'387 |
| Métro | 0 | 0 | 0 | 14'906 | 22'145 | 55'435 |
| TOTAL | 81'203 | 82'371 | 83'967 | 88'150 | 91'903 | 108'977 |
| Premières montées | 48'861 | 50'684 | 51'373 | 52'125 | 53'764 | 59'908 |
| Transbordements | 32'342 | 31'687 | 32'594 | 36'025 | 38'139 | 49'069 |
| A pied | 329 | 333 | 345 | 327 | 216 | 316 |

Passagers pendant la période de pointe du matin (référence 1980)

Les quelques déplacements à pied apparaissant dans le tableau sont des cas particuliers où, selon les hypothèses prises en compte par le modèle d'affectation, il ressort que le moyen de déplacement offrant le temps généralisé le plus favorable est la marche à pied.

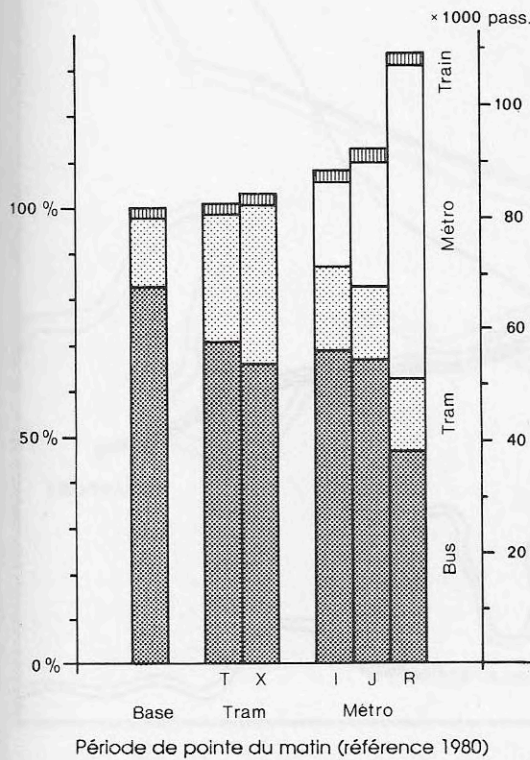
Le nombre de passagers est le nombre de personnes entrant ou sortant des convois de transports publics. Lorsqu'il y a transbordement, le passager est compté à nouveau dans le second moyen de transport public utilisé. C'est pourquoi il est opportun de distinguer entre ceux qui prennent pour la première fois le transport public pendant leur déplacement et ceux qui transbordent.



Les résultats exprimés graphiquement ci-contre montrent que le tram diminue le nombre de transbordements. Cela tient au mode d'exploitation du réseau qui offre depuis la branche de Meyrin la possibilité d'aller sur les trois autres branches de la Croix ferroviaire sans transborder.

Le métro, par contre, par son attractivité résultant de sa plus grande vitesse, augmente le nombre de transbordements.

Premières montées et transbordements

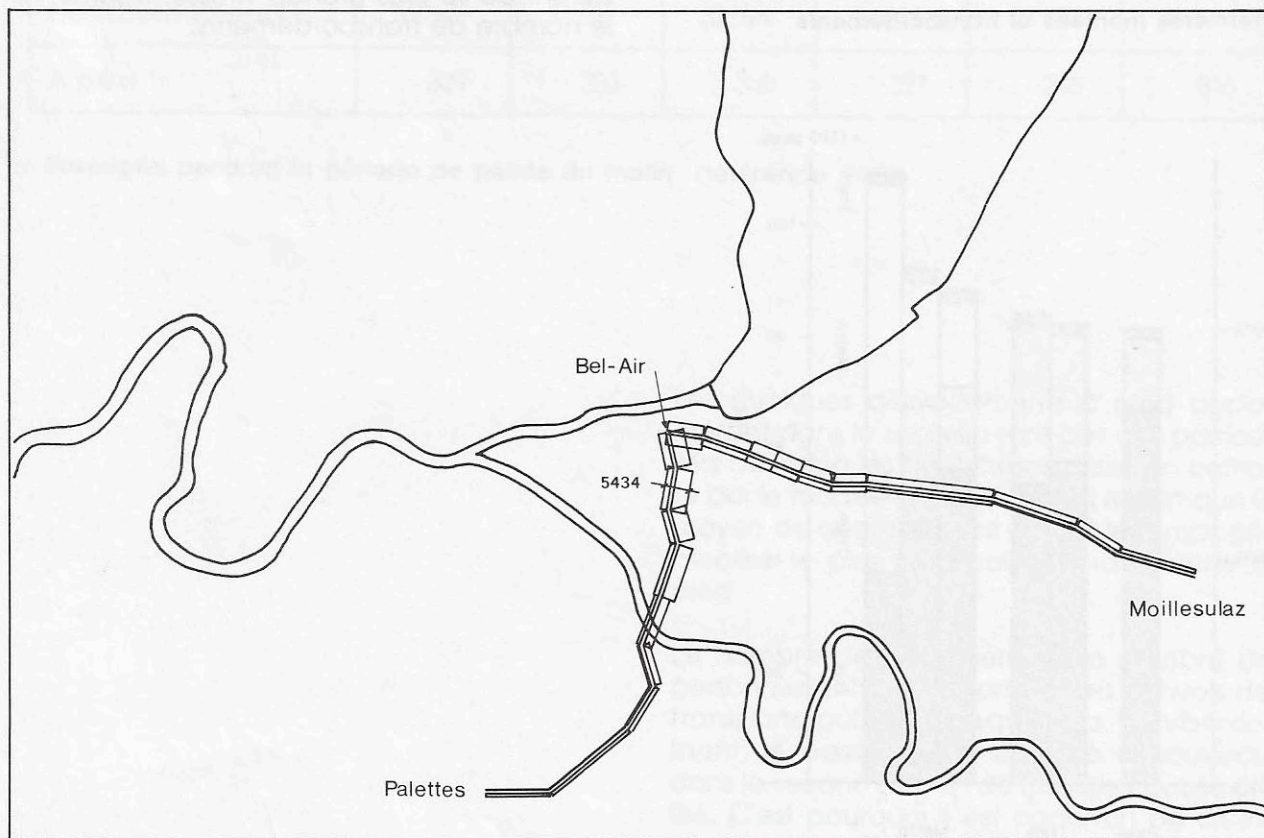


Passagers par moyens de transport

CHARGE DES LIGNES

Les représentations graphiques qui suivent montrent pour chacune des variantes étudiées la charge de la ou des lignes principales de tramway ou de métro.

Variante de base

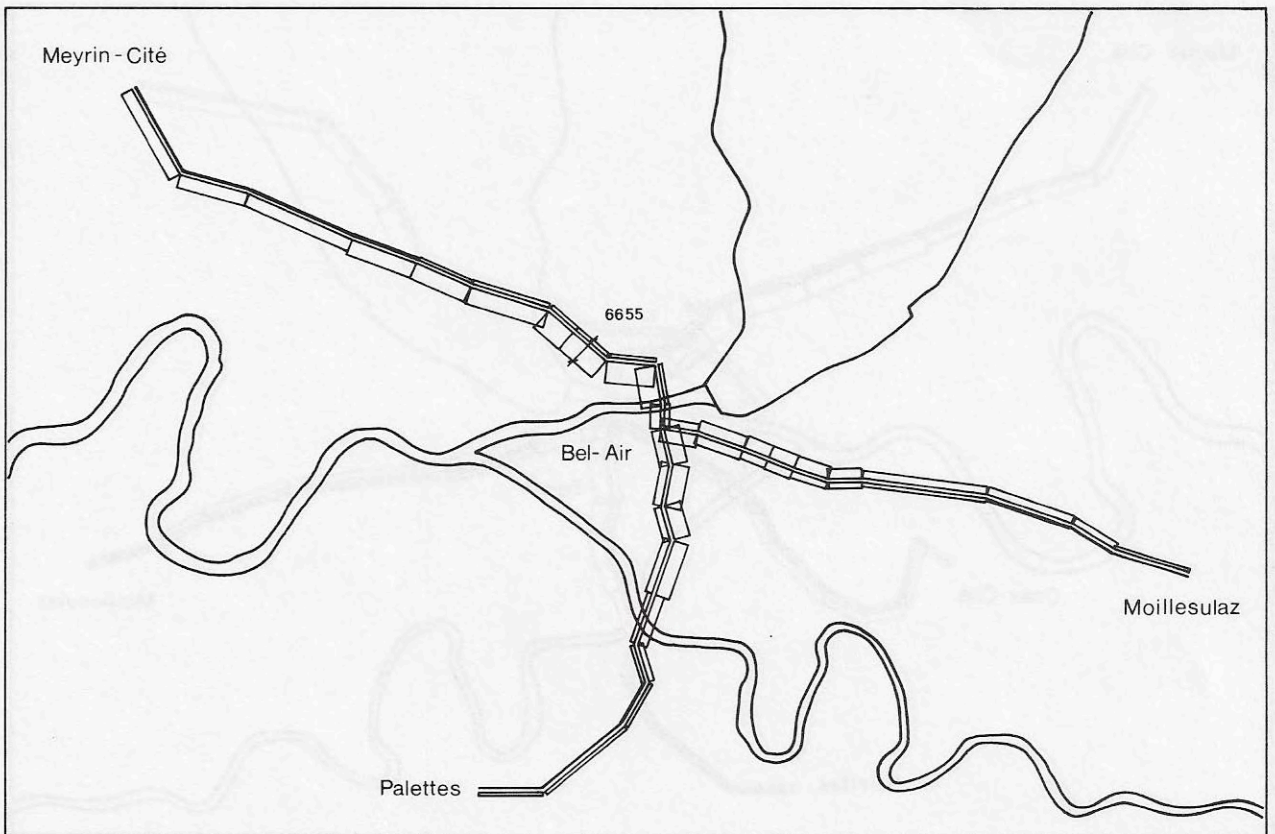


Charge de la ligne de tramway n° 12 (période de pointe du matin, référence 1980)

Variante T-Tram

La charge de la branche de tram vers Meyrin est du même ordre de grandeur que celle des branches vers Moillesulaz et Carouge.

Toutefois, son caractère radial et directionnel est beaucoup plus prononcé, comme le montre le déséquilibre de sa charge.

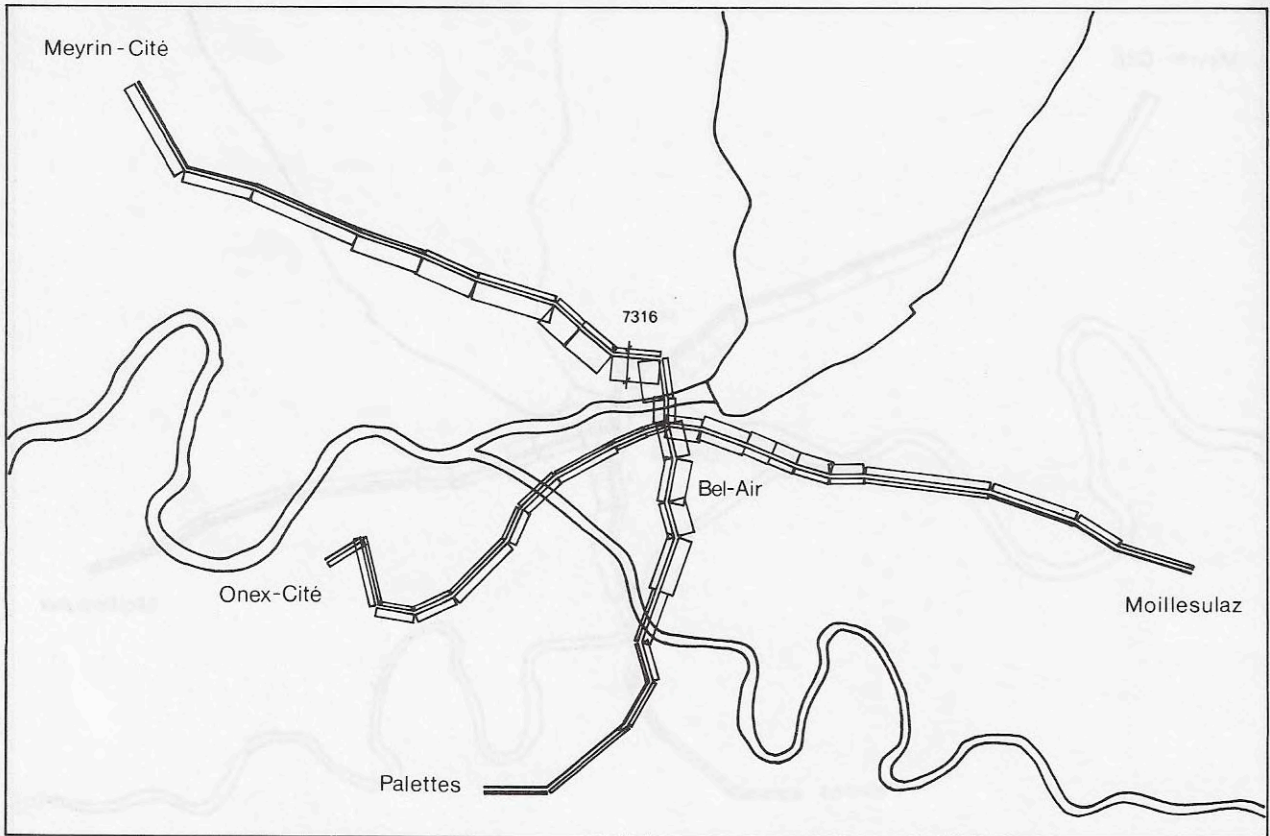


Charge des trois lignes de tramway (période de pointe du matin, référence 1980)

Variante X-Tram

La branche de tramway vers Meyrin gagne encore en importance. La branche d'Onex écoule en revanche un trafic très nettement inférieur aux trois autres. Cela provient avant

tout de la ligne de trolleybus 2 qui subsiste. La croix ferroviaire actuelle n'est vraisemblablement pas la meilleure solution à terme pour le tram.

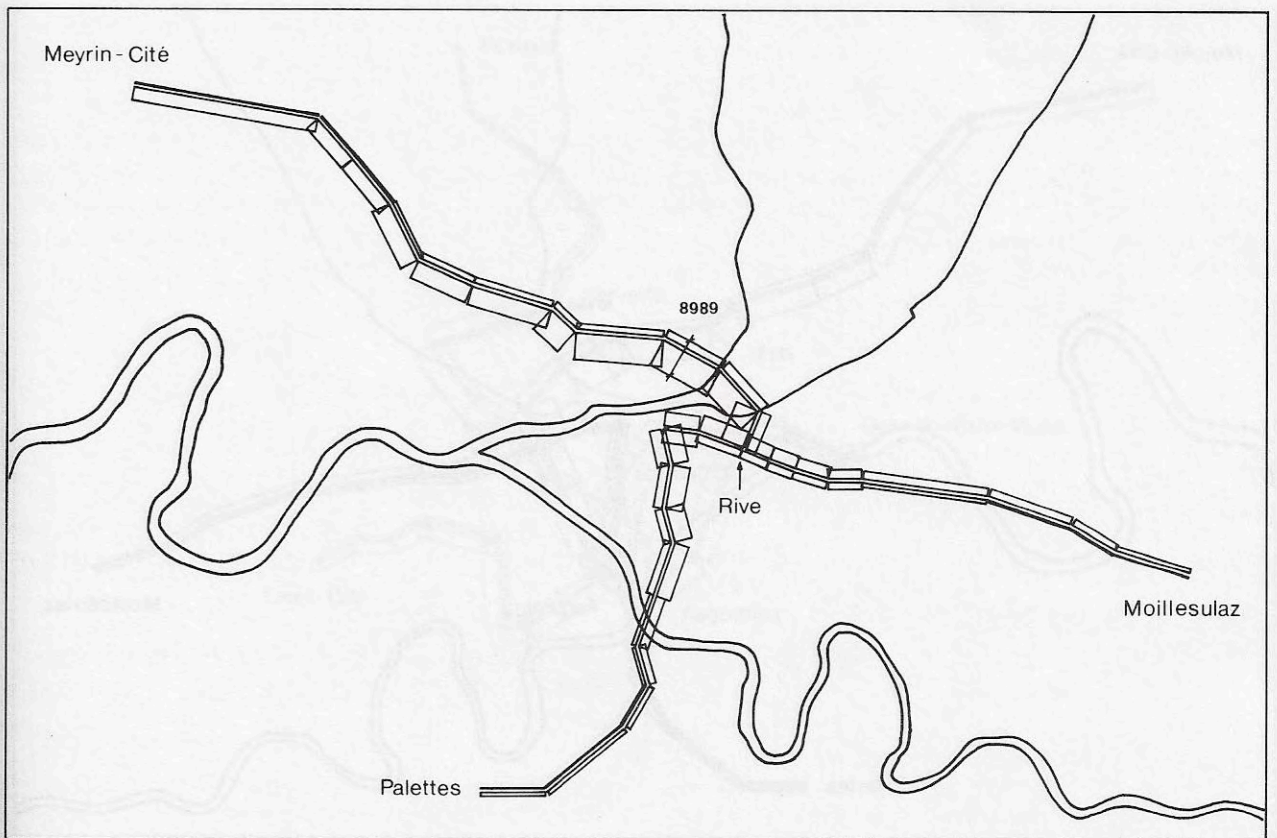


Charge des quatre lignes de tramway (période de pointe du matin, référence 1980)

Variante I-Métro

D'emblée, les charges fortement directionnelles du métro sont supérieures à celles du tram 12. La comparaison avec le réseau de base montre que le tramway doit écouler une

surcharge au centre provenant du métro, parce qu'une partie importante du trafic se reporte de l'axe Cornavin - Bel-Air à l'axe Cornavin - Rive.

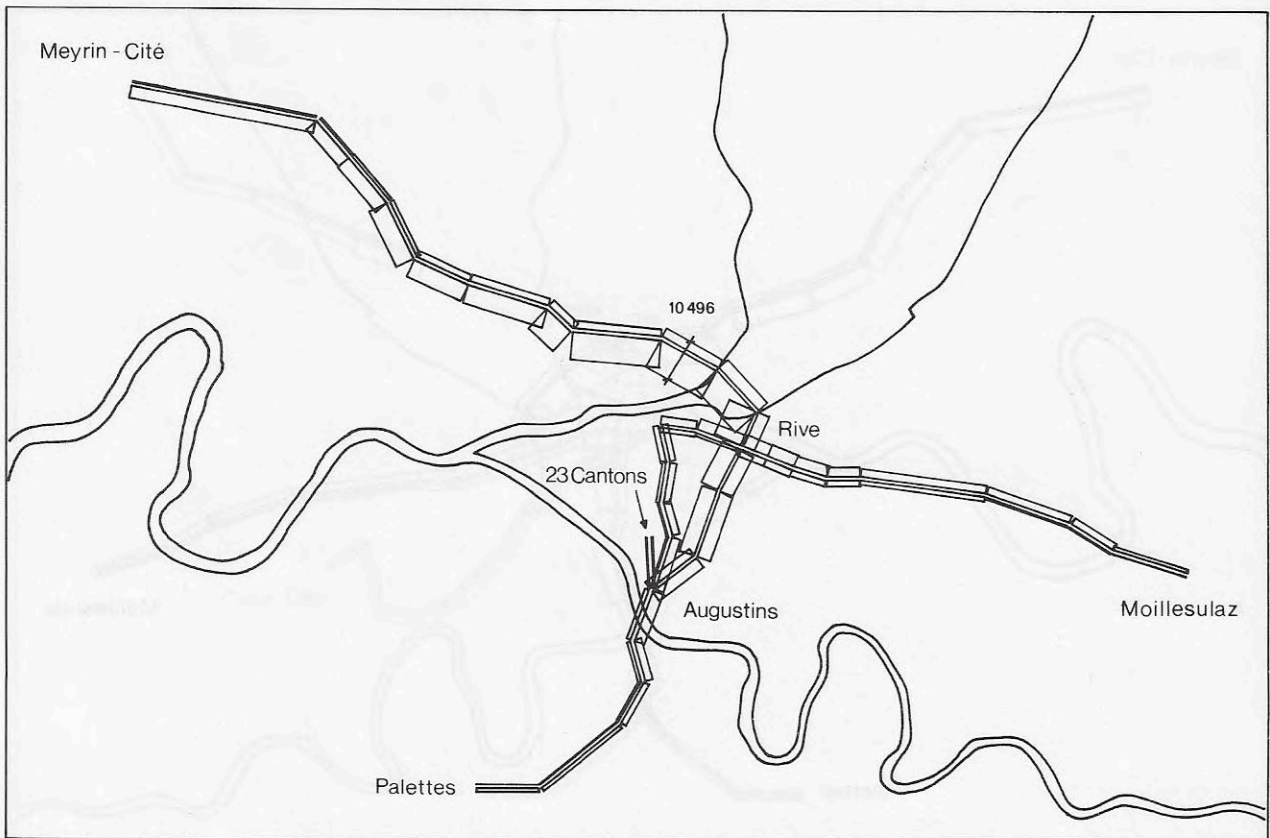


Charges du métro et du tramway (période de pointe du matin, référence 1980)

Variante J-Métro

Le prolongement entre Rive et les Augustins écoule un trafic important dans les deux directions. Le prolongement des Augustins au carrefour des 23-Cantons pour assurer une correspondance avec le bus 4 n'apporte presque rien. La surcharge du tram au centre, relevée dans la variante I-Métro, se transforme en une décharge. L'effet est probable-

ment assez réaliste car l'examen des itinéraires a montré qu'une personne allant par exemple de Carouge à la Terrassière restait dans le tramway entre les Augustins et Rive, mais qu'une personne arrivant en tram ou à pied aux Augustins avait intérêt à prendre le métro pour se rendre à Rive même.

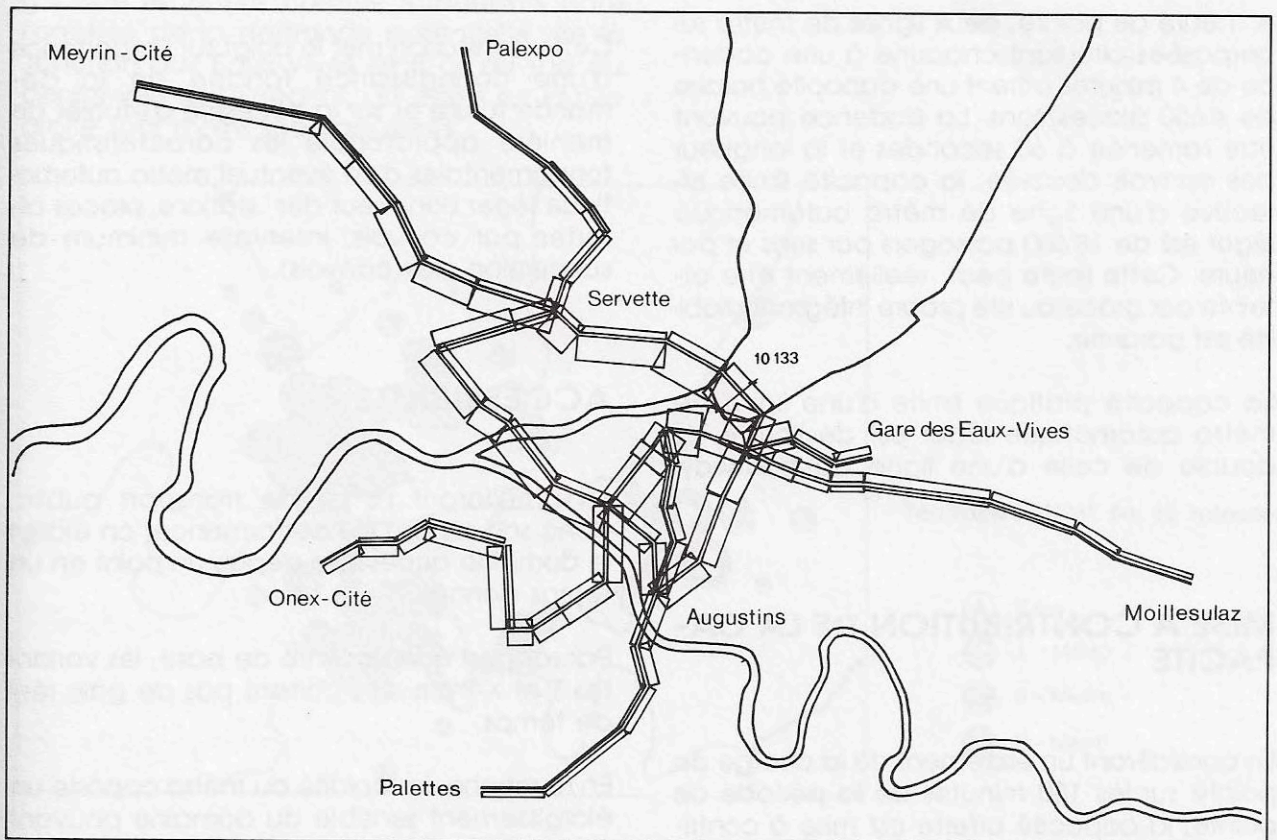


Charges du métro et du tramway (période de pointe du matin, référence 1980)

Variante R-Métro

Ce qui frappe tout d'abord, c'est l'excellente charge de tout le réseau de métro, mis à part la branche vers Palexpo qui traverse des quartiers peu peuplés en 1980, mais avec un

grand potentiel de développement. L'utilité d'un double franchissement du Rhône se trouve ici confirmée.



Charges du métro et du tramway (période de pointe du matin, référence 1980)

CAPACITE DES LIGNES

La capacité offerte sur les lignes de tramway des variantes T et X-Tram est en général supérieure à celle offerte par le métro dans les variantes I, J et R-Métro. Cela tient au fait que la fréquence des convois (tramway ou métro) est la même avec une capacité unitaire favorable au tramway.

A l'heure de pointe, avec trois lignes de tramway superposées circulant chacune à une cadence de 6 minutes, on offre 7'800 places à l'heure par sens de circulation. En abaissant l'intervalle entre convois au minimum pratique de 90 s., on arrive théoriquement à 10'400 places/heure/sens. Cette valeur est théorique car à la moindre perturbation retardant un tramway, celui-ci doit rebrousser chemin avant d'avoir atteint le bout de la ligne et ainsi la capacité est réduite de manière sensible. On peut observer ce phénomène aujourd'hui sur la ligne 12.

A l'heure de pointe, deux lignes de métro superposées circulant chacune à une cadence de 4 minutes offrent une capacité horaire de 4'650 places/sens. La cadence pouvant être ramenée à 60 secondes et la longueur des convois doublée, la capacité limite effective d'une ligne de métro automatique léger est de 18'600 passagers par sens et par heure. Cette limite peut réellement être atteinte car grâce au site propre intégral la fiabilité est garantie.

La capacité pratique limite d'une ligne de métro automatique léger est de l'ordre du double de celle d'une ligne de tramway.

MISE A CONTRIBUTION DE LA CAPACITE

En considérant un étalement de la charge de pointe sur les 130 minutes de la période de pointe, la capacité offerte est mise à contribution de la manière suivante selon les variantes :

| | TRAMWAY Charge moy. | METRO Charge moy. | TRAMWAY Charge max. | METRO Charge max. |
|---------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Base | 22% | -- | 63% | -- |
| T-TRAM | 18-19 % | -- | 52-55 % | -- |
| X-TRAM | 15-18 % | -- | 43-53 % | -- |
| I-METRO | 21% | 28-41 % | 55% | 64-81 % |
| J-METRO | 17% | 31-41 % | 39% | 74-91 % |
| R-METRO | 18% | 26-44 % | 40% | 62-87 % |

Capacité mobilisée

Si l'on tient compte du fait que la charge calculée des lignes résulte de la demande de 1980, et que l'une des lignes de métro traverse des quartiers entre Varembeé et Palexpo qui, en 1980, étaient peu peuplés et sont encore loin d'avoir atteint leurs possibilités de développement, on doit reconnaître qu'il y a peu ou pas de marge pour une demande future.

Cette constatation met le doigt sur l'importance d'une connaissance fondée de la demande future et sur la nécessité d'étudier de manière approfondie les caractéristiques fondamentales d'un éventuel métro automatique léger (longueur des stations, places offertes par convois, intervalle minimum de succession des convois).

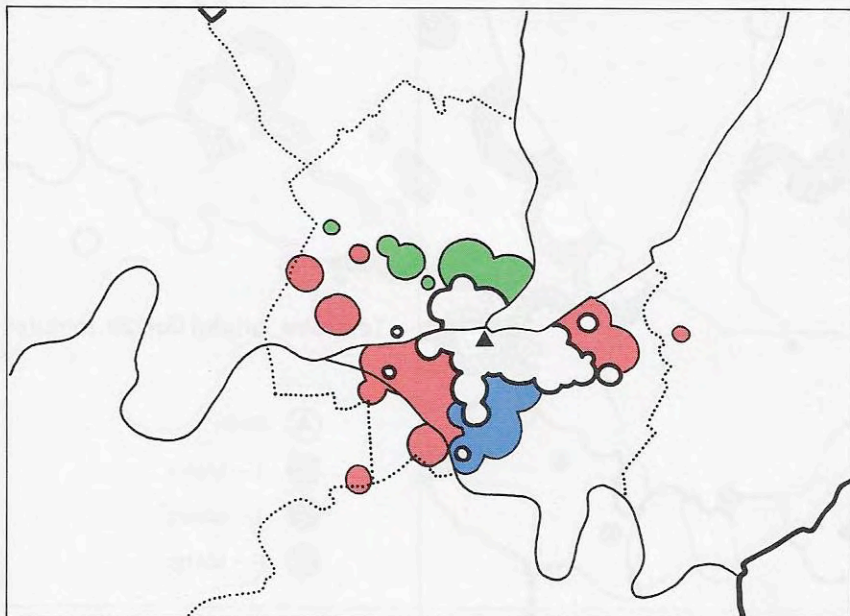
ACCESSIBILITE

En améliorant l'offre de transport public, donc son niveau de performance, on élargit le domaine accessible depuis un point en un temps donné.

Par rapport à la variante de base, les variantes T et X-Tram n'apportent pas de gain réel de temps.

En revanche, la rapidité du métro apporte un élargissement sensible du domaine pouvant être atteint en un laps de temps donné, comme le montrent les illustrations suivantes.

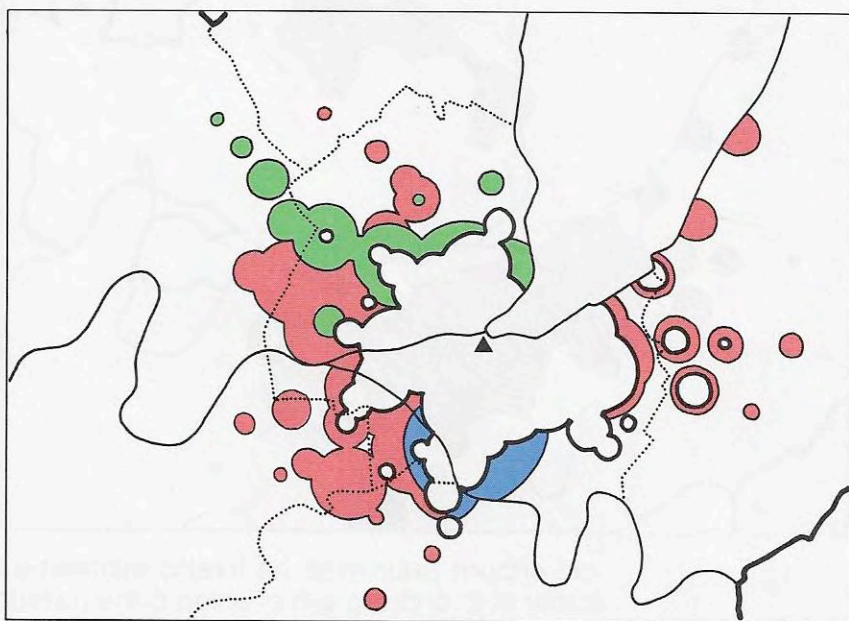
A partir du Molard



Territoire atteint en 10 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 10 minutes avec le métro s'étend à tous les quartiers de la rive gauche reconnus comme importants dans l'analyse de la demande potentielle, de la Jonction aux Eaux-Vives ainsi qu'au sud du centre-ville vers l'Hôpital. Les effets sur la rive droite sont moins spectaculaires.



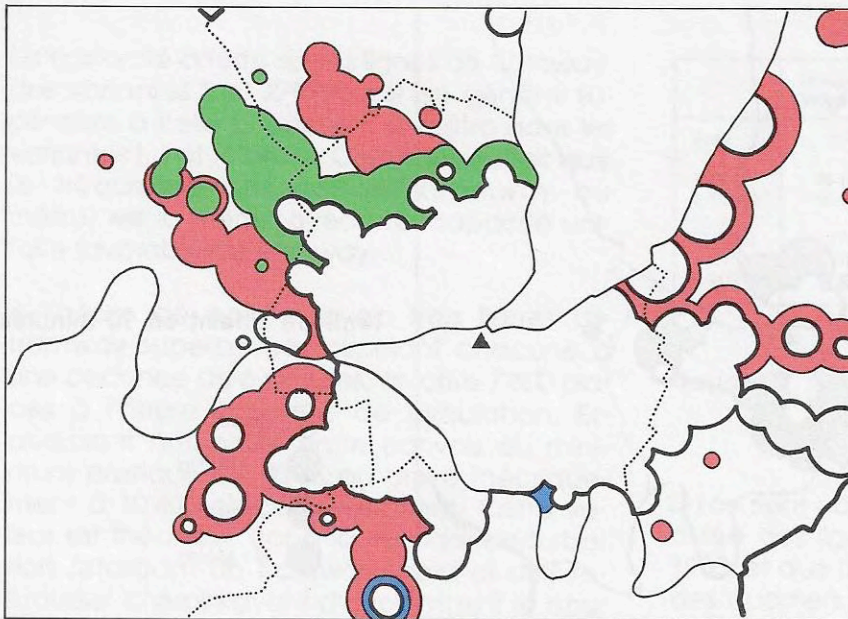
Territoire atteint en 15 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 15 minutes avec le métro diffère avant tout sur la rive droite cette fois-ci.

CARTOGREPHES

Diagramme de type A

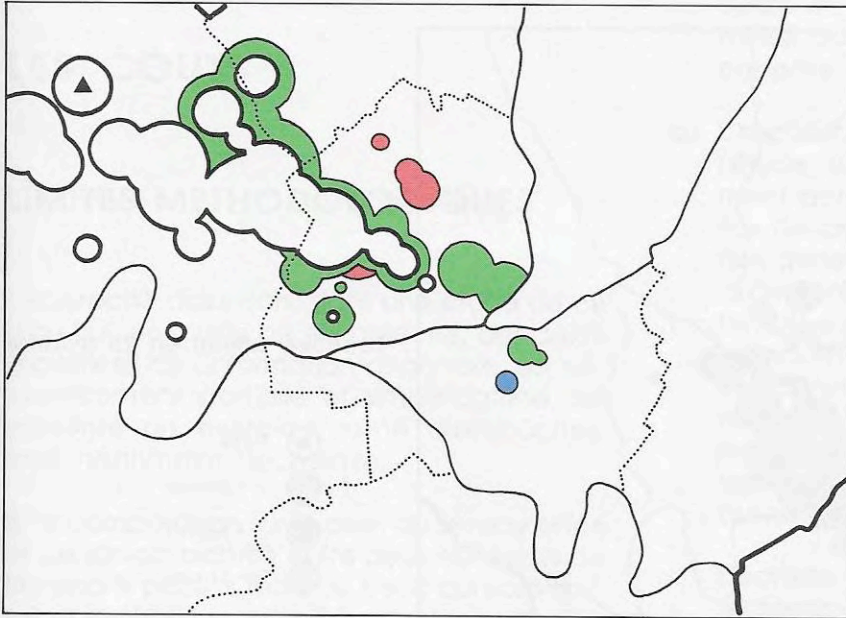


Territoire atteint en 20 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 20 minutes n'évolue pas dans le secteur compris entre la route de Chêne et Carouge simplement parce qu'il ne s'y trouve aucune nouvelle infrastructure. En direction de Lancy et Onex, les gains sont appréciables. Mais c'est surtout sur la rive droite que les poussées du métro sont les plus spectaculaires.

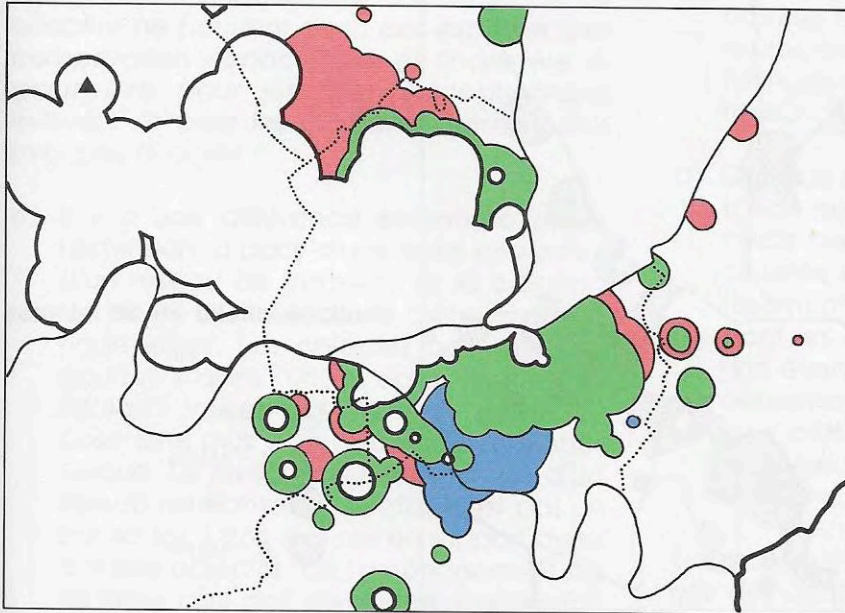
A partir de la Cité de Meyrin



Territoire atteint en 20 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 20 minutes semble peu augmenter. Néanmoins, en regardant plus attentivement, on constate non seulement que la région Cornavin-Pâquis est englobée dans ce laps de temps, mais aussi quelques points nouveaux de la rive gauche.

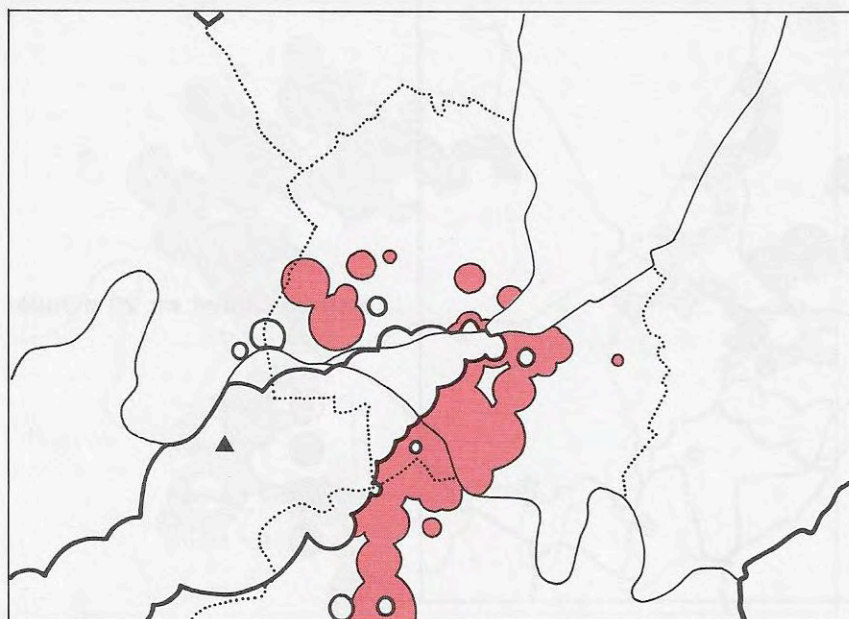


Territoire atteint en 30 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 30 minutes touche actuellement à peine la rive gauche. Si le temps total de transport à partir de Meyrin reste assez long, la plus grande partie de la ville sur la rive gauche est desservie à l'aide du métro en moins d'une demie-heure. Le changement est d'importance.

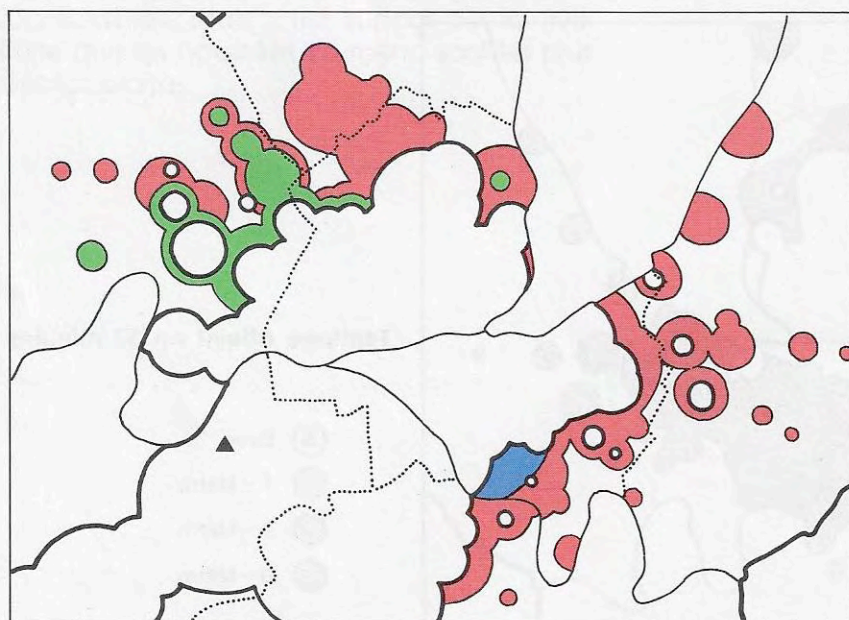
A partir de la Cité-Nouvelle d'Onex



Territoire atteint en 20 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 20 minutes n'est modifié que lorsque le réseau de métro complet est réalisé. A ce moment-là, Plainpalais et le centre sont desservis dans ce laps de temps.



Territoire atteint en 30 minutes

- ▲ Base
- I - Métro
- J - Métro
- R - Métro

Le territoire atteint en 30 minutes n'est que peu modifié sur la rive gauche. En revanche, il pousse sur la rive droite jusqu'à l'aéroport et Palexpo.

Chapitre 5

LES COÛTS

LIMITES METHODOLOGIQUES

L'approche des coûts, dans une étude de ce type qui, en raison de ses objectifs, des délais impartis et de l'information disponible, est nécessairement partielle et simplificatrice, représente un exercice semé d'embûches, mais néanmoins nécessaire.

Si la comparaison sur le plan du service offert et de son attractivité entre deux concepts de transports publics tels que ceux qui sont soumis à la réflexion est déjà extrêmement délicate en soi, on peut imaginer que la difficulté s'accroît lorsque les arguments en présence sont des coûts qui, s'exprimant de manière chiffrée, ne se prêtent pas, par nature, à la nuance.

Les quelques analyses qui font l'objet de ce chapitre *ne peuvent donc pas exprimer une comparaison économique et financière rigoureuse* pour les raisons mentionnées ci-avant et pour les différents autres motifs évoqués ci-après :

a) Il y a une différence essentielle entre l'extension, à partir d'une base existante, d'un réseau de tramway et la création "ex nihilo" d'un réseau de métro automatique léger. Les objectifs pouvant être poursuivis dans l'un ou dans l'autre cas diffèrent très sensiblement et l'on ne dispose ainsi plus d'un cadre de référence unique. Le niveau de performance d'un réseau de transports publics n'est pas un but en soi. Il doit être mis en rapport avec d'autres objectifs de l'aménagement du territoire qu'il doit permettre d'atteindre. Mais ces objectifs d'aménagement eux-mêmes sont fonction des possibilités du système des transports publics en particulier. Ainsi, l'aspect "coûts" intervenant dans une comparaison ne peut se limiter aux coûts et avantages "internes" du système des transports publics, mais

devrait également tenir compte des coûts et avantages "sociaux", ce qui n'était pas pensable dans le cadre de la présente étude.

- b) L'impossibilité, dans le délai imparti pour l'étude, de rendre opérationnel un instrument permettant de simuler des scénarios de développement de l'agglomération genevoise et leurs conséquences sur la demande de transport empêche toute tentative de chiffrer des recettes d'exploitation. En effet, dans la mesure où métro et tramway ne desservent pas le même territoire, l'absence d'information fondée sur la demande future exclut toute comparaison dans le domaine des recettes, qui ne soit pas sujette à caution.
- c) L'échelle du temps, qui intervient très directement dans une étude économique, est absente de la présente étude et ne pouvait guère être introduite à ce stade de la réflexion, sans tomber dans l'arbitraire. L'établissement d'un échéancier de réalisation doit prendre en compte, d'une part, les possibilités d'investissement de l'Etat et, d'autre part, les contraintes d'étude et de construction, qui toutes deux ne peuvent valablement être formulées que dans un éventuel stade ultérieur de la réflexion.
- d) Dès que l'on dépasse des délais de réalisation de plus de 10 ans, l'évolution des coûts n'est plus maîtrisable. Ainsi, il est possible de comparer les coûts d'investissement de T-Tram, I-Métro et J-Métro dont les délais plausibles d'une réalisation éventuelle se situent dans des limites convenables. Pour X-Tram et R-Métro, les coûts, bien qu'établis de la même manière, sont à considérer en tant qu'ordres de grandeur.

Dans ces conditions, on se limitera à une analyse des coûts, à l'exclusion des recettes.

Le mini-RER identique pour toutes les variantes n'est pas pris en compte dans les coûts.

STRUCTURE DE PRESENTATION

Pour toutes les variantes, on considère un "réseau TPG" comprenant les lignes de tramway, de trolleybus et d'autobus. Pour les variantes I, J et R-Métro, on considère, en plus, un réseau "Métro" indépendant, c'est-à-dire comme s'il s'agissait d'une entreprise distincte des TPG. Ce choix se fonde exclusivement sur un souci de clarté, en raison de différences dans la technique d'établissement de certains coûts.

Le réseau "TPG" considéré, le parc de véhicules et l'effectif du personnel nécessaires à son exploitation ne prennent en compte que les prestations de trafic "à l'horaire" à l'exclusion de toutes les prestations spéciales. Cette nuance explique certaines différences qui peuvent être mises en évidence entre la variante de base et la situation actuelle.

COUTS D'INVESTISSEMENT

Le réseau de base, défini précédemment, sert d'élément de comparaison. On admet donc que toute l'infrastructure, l'équipement et le matériel roulant nécessaires à l'exploitation de la variante de base est acquis.

Réseau TPG

Mis à part l'extension du réseau de tramway et ce qui s'y rattache, il n'est guère possible de préciser les investissements nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du réseau TPG à partir de l'acquis du réseau dit "de base". Cela est d'autant plus délicat en l'absence d'un échancier. Dans la mesure où il y a réduction du parc de véhicules sur pneus et pas de trop grandes différences entre variantes comparables, cette lacune ne devrait pas provoquer, a priori, de distorsion dans les comparaisons.

Pour l'extension du réseau de tramway, on reprendra les données de l'étude de la Croix ferroviaire, actualisées, pour la variante "Temple".

A l'époque, la structure de présentation des coûts retenue était très synthétique, groupant sous la rubrique "Coût de construction" le gros-oeuvre, les incidences directes sur les réseaux des services publics, la reconstruction des voiries touchées, l'infrastructure et la superstructure des voies, la ligne de contact, l'alimentation électrique, les installations de signalisation et de régulation des circulations routières et ferroviaires, l'équipement des arrêts ainsi que le projet et la direction des travaux. N'étaient pas pris en compte les frais d'acquisition de terrains et de droits.

Pour le matériel roulant, les hypothèses révisées de la présente étude ont été prises en compte, ce qui a réduit de manière sensible les besoins de matériel roulant. Une partie des véhicules supplémentaires nécessaires à la variante T-Tram sont ainsi déjà *inclus dans la série de 46 motrices livrables dès 1987 et dont le coût n'est ainsi pas pris en compte.*

| | T-TRAM | X-TRAM | I-J-R METRO |
|------------------|--------|--------|-------------|
| Constructions | 366 | 432 | -- |
| Matériel roulant | 112 | 177 | -- |
| TOTAL | 478 | 619 | -- |

Investissements tramway (en millions de francs)

Réseau de métro

Dans la mesure où il s'agit d'un réseau entièrement nouveau, il n'était pas possible de se référer à des valeurs découlant de l'expérience des TPG. Il a par conséquent été nécessaire d'établir l'intégralité des coûts en se référant à la structure de présentation utilisée pour les entreprises suisses de transport.

Les postes 3 à 8 et partiellement le poste 10 ont été établis sur la base des informations fournies par les constructeurs. En raison des différences de conception des trois systèmes pris en compte, chacun de ces postes est donné sous forme d'une fourchette. La fourchette intervenant dans le total n'est évidemment pas la somme des valeurs extrêmes.

| | I-METRO | J-METRO |
|---|---------------|-----------------|
| 1 Acquisition de terrains et de droits | (*) | (*) |
| 2 Infrastructure et stations | 524,6 - 530,8 | 692,1 - 698,6 |
| 3 Superstructure | 37,9 - 43,4 | 45,7 - 55,2 |
| 4 Bâtiments | 28,3 | 28,3 |
| 5 Installations | 6,1 - 6,4 | 6,5 - 6,8 |
| 6 Installations pour la traction électrique | 15,8 - 54,1 | 19,3 - 67,0 |
| 7 Installations de télécommunication et de sécurité | 33,8 - 43,5 | 38,7 - 51,7 |
| 8 Véhicules | 43,7 - 54,8 | 56,6 - 70,5 |
| 9 Objets mobiliers | (**) | (**) |
| 10 Projet, direction des travaux | 87,1 - 87,9 | 109,1 - 109,3 |
| TOTAL | 794,6 - 831,9 | 1016,9 - 1046,9 |

(*) Ce poste n'est pas traité

(**) Une partie de ces objets figure sous le poste 5, le solde (ameublement, machines et appareils de bureau) est négligé

La marge d'approximation des prévisions de coûts des travaux de génie civil (poste 2) est de l'ordre de 25%. Elle se reporte en partie sur le poste 10.

Investissements métro (en millions de francs)

Concernant les coûts de construction de R-Métro, rappelons les réserves faites précédemment sur la fiabilité d'estimations établies aujourd'hui pour des réalisations dont les délais d'exécution dépasseraient largement dix, voire vingt ans. La variante R-Métro doit être considérée pour ce qu'elle est, c'est-à-dire une *hypothèse de travail*.

Rien ne permet, au stade actuel des études, d'affirmer qu'un réseau d'une telle ampleur (plus de 25 km) devrait être réalisé dans son entier.

Pour se faire toutefois une idée, on dira qu'en l'état des estimations, il faudrait, pour réaliser R-Métro, tabler aujourd'hui sur un investissement supplémentaire de l'ordre de 1'500 millions de francs par rapport à J-Métro.

COÛTS D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation comprennent les charges pour le personnel, les frais de choses (entretien des véhicules et des installations, énergie) et les amortissements et charges diverses.

Réseau TPG

On peut recourir ici à une pratique de présentation usuelle distinguant entre coûts kilométriques et coûts horaires.

Les coûts kilométriques, par type de véhicule, englobent les frais de personnel administratif et d'entretien des installations et des vé-

hicules, les frais de choses ainsi que les amortissements et charges diverses, sauf l'amortissement des véhicules.

Les coûts horaires couvrent les frais de personnel d'exploitation. La prise en compte des charges d'amortissement du matériel roulant est difficile. Pour les tramways qui seront tous renouvelés, on dispose d'une information suffisante. Pour les bus et trolleybus, par contre,

un calcul d'amortissement qui devrait se fonder sur un programme détaillé de renouvellement du parc est impossible à ce niveau d'étude. Il a donc été négligé. Cela crée une distorsion favorable aux variantes "tram" qui nécessitent un parc de bus plus important.

Les charges annuelles d'exploitation (référence coûts 1985) seraient les suivantes :

| | Frais kilométriques | Frais horaires | Total avant amortissement | Amortissement tramway | Total |
|-----------|---------------------|----------------|---------------------------|-----------------------|---------|
| Base | 66,600 | 47,900 | 114,500 | 3,000 | 117,500 |
| T-Tram | 92,500 | 52,600 | 145,100 | 6,300 | 151,400 |
| X-Tram | 103,500 | 53,400 | 156,900 | 8,300 | 165,200 |
| I-J-Métro | 68,000 | 46,000 | 114,000 | 3,000 | 117,000 |
| R-Métro | 58,100 | 38,700 | 96,800 | 3,000 | 99,800 |

Charges d'exploitation du réseau TPG complémentaire (en millions de francs par an)

Réseau de métro

Dans la mesure où le réseau de métro serait exploité par un moyen de transport nouveau et que, parmi les systèmes en compte dans la présente étude, certains ne peuvent justifier d'aucune expérience d'exploitation commerciale, les valeurs données ci-dessous doivent être considérées avec prudence.

Les charges de personnel ont été établies sur la base du nombre de personnes et des qualifications indiquées par les constructeurs et en prenant l'échelle salariale des TPG.

Les taux d'amortissement sont ceux légalement appliqués en Suisse.

| | I-Métro | J-Métro | R-Métro |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 Personnel d'exploitation Personnel de maintenance | 2,950 - 3,800 3,200 - 4,000 | 3,050 - 4,150 4,000 - 4,450 | 6,000 - 7,900 8,650 - 9,000 |
| 2 Nettoyage | 0,850 | 1,100 | 2,650 |
| 3 Matériel de rechange | 1,250 - 1,400 | 1,550 - 1,800 | 3,450 - 3,800 |
| 4 Energie | 0,950 - 1,100 | 1,250 - 1,450 | 3,000 - 3,400 |
| Total sans amortissements | 10,000 - 10,350 | 11,400 - 12,500 | 23,750 - 26,750 |
| 5 Amortissements | 10,550 - 11,700 | 13,250 - 14,800 | 31,600 - 35,700 |
| TOTAL | 20,550 - 22,050 | 24,650 - 27,300 | 58,350 - 59,450 |

Charges d'exploitation du réseau métro (en millions de francs par an)

Réseau complet des transports publics

| | Mio Fr./an * | % Base |
|---------|-------------------|-----------|
| Base | 117,500 | 100 |
| T-Tram | 151,400 | 129 |
| X-Tram | 165,200 | 140 |
| I-Métro | 137,600 - 139,700 | 117 - 119 |
| J-Métro | 141,750 - 144,400 | 121 - 123 |
| R-Métro | 153,150 - 159,250 | 130 - 136 |

* non compris les amortissements des autobus et trolleybus

Charges d'exploitation du réseau complet
(en millions de francs par an)

Chapitre 6

LA REALISATION DANS LE TEMPS

BUTS ET LIMITES DU PROPOS

Il a été défini précédemment des "états" de développement de réseaux de transports publics s'articulant sur une ossature principale constituée par des lignes de tramway ou de métro automatique léger. Ces "états" visaient à permettre des comparaisons aussi correctes que possible entre les deux options tramway et métro.

Tant dans l'étude de faisabilité d'une Croix ferroviaire que dans la présente étude, il n'a jamais été question d'étapes précises et d'échéancier de réalisation. Cela s'explique par le fait que, pour pouvoir déterminer sérieusement de telles étapes, il faut disposer d'éléments relevant d'une étude plus détaillée.

Il n'est toutefois pas inopportun pour les décideurs de pouvoir apprécier, même de manière sommaire, comment la réalisation d'une infrastructure nouvelle de transports publics pourrait s'échelonner dans le temps et quels investissements annuels il pourrait en résulter.

C'est la raison pour laquelle, malgré les réserves énoncées ci-dessus, cette question est sommairement abordée ici pour montrer quels sont les facteurs intervenant dans les choix relatifs aux étapes de réalisation et pour permettre de fixer quelques ordres de grandeur.

TRAMWAY ET METRO AUTOMATIQUE LEGER : DES DIFFERENCES FONDAMENTALES

Sur le plan de l'offre de transport et de l'exploitation

L'extension du réseau de tramway, comme son nom l'indique, ne peut s'envisager qu'à partir de la ligne existante. Le concept général d'exploitation retenu vise à créer une offre meilleure tant sur le plan de la fréquence (et de la capacité) sur les axes desservis que dans la diversité des liaisons directes offertes. C'est ainsi que cette extension a été conçue en deux grandes étapes : T-ferroviaire et Croix ferroviaire.

Dans le cas du métro automatique léger la situation est différente. Il s'agit en effet d'une infrastructure entièrement nouvelle, totalement indépendante qui doit, en particulier, disposer de ses propres installations de maintenance. Le choix d'étapes de réalisation doit intégrer des facteurs portant sur des aspects de nature très différente, comme exposé plus loin.

Sur le plan des contraintes extérieures

L'extension du réseau de tramway se réalise soit en surface, sur la voirie existante ou en bordure de celle-ci, soit en souterrain (tronçon St-Gervais-Montbrillant), mais à partir de la surface. Les difficultés techniques sont facilement maîtrisables, mais les travaux et les emprises nécessaires toucheront une multitude d'intérêts particuliers (privés, voire publics) qui conduiront à des procédures pouvant être très longues. L'expérience montre que ce sont ces procédures qui déterminent la durée de réalisation entre la décision politique et la mise en service.

Ainsi, la construction de la nouvelle ligne de tramway de Schwamendingen à Zürich, par exemple, d'une longueur totale de 6450 m, dont plus de 2 km dans un tunnel qui était déjà existant, a exigé une douzaine d'années entre l'attribution du crédit d'étude et la mise en service :

1973 : premier crédit d'étude
 1976 : dépôt du projet
 1979 : début des travaux préparatoires
 fin 1985 : mise en service

On précisera encore que les tronçons de surface de cette nouvelle ligne de tramway zurichoise se situent à plus de 4 km du centre ville.

Il serait déplacé de vouloir tirer des parallèles simplistes de cet exemple pour déterminer des délais de réalisation prévisibles à Genève. Mais on doit néanmoins être prudent sur ce sujet lorsqu'il s'agit de réaliser *plus de 17 km* de lignes nouvelles de tramway, passant par le centre-ville.

Pour le métro automatique léger, les contraintes sont d'un autre type et relèvent presque essentiellement de facteurs techniques qu'il est moins aléatoire de maîtriser dans le temps.

LES FACTEURS INTERVENANT DANS LE CHOIX D'UNE PREMIERE ETAPE DE REALISATION D'UN METRO AUTOMATIQUE LEGER

Demande de transport

Les analyses sur l'attractivité des diverses variantes d'offre de transport public ont montré (cf. partie C, chap. 4) que la desserte de l'axe Centre-ville - Meyrin, d'une part, et du secteur Plainpalais/Hôpital cantonal, d'autre part, offre les meilleures potentialités.

Liaison rive droite - rive gauche

La ligne de tramway no 12, améliorée et prolongée, dessert uniquement la rive gauche. Il est indispensable qu'une première étape de réalisation d'un métro automatique léger assure une nouvelle liaison avec l'autre rive.

Dans la mesure où le réseau de métro de référence (R-Métro) pris en compte dans cette étude envisage à terme deux liaisons entre les deux rives, l'une à la Jonction, l'autre entre Rive et la rue des Alpes, c'est l'une de ces

deux liaisons qui doit être choisie. Celle traversant la rade, permettant de se raccorder directement à la ligne no 12 et d'accéder rapidement à la gare de Cornavin, doit être préférée. La traversée du Rhône par les transports publics de surface par les Ponts de l'île subsisterait et Bel-Air conserverait son rôle.

Contraintes d'exécution

Le réseau du centre-ville devant être réalisé au moyen d'un tunnelier avec bouclier à bentonite nécessite des installations de chantier importantes, en particulier pour le traitement des matériaux excavés. On ne peut guère envisager d'autre emplacement pour ces installations dans le centre-ville qu'une partie de la plaine de Plainpalais.

Par conséquent, la première étape doit comprendre un tronçon passant à proximité immédiate de ce lieu.

Contraintes d'exploitation

Même embryonnaire, le réseau de métro doit disposer d'un garage, d'un atelier et d'une voie d'essai d'une longueur approximative de 600 m. Si l'on peut imaginer dans un premier temps d'utiliser un tronçon de galerie non encore exploité comme garage, il n'en est pas de même pour l'atelier et la voie d'essai. Cette dernière, en particulier, doit être disponible pour procéder au test des automatismes et autres contrôles du matériel roulant, avant la mise en service de la ligne déjà. L'atelier doit être en liaison directe avec ce tronçon d'essai et doit pouvoir être agrandi au fur et à mesure des besoins. Il n'existe pas une multitude d'emplacements d'une superficie suffisante, situés le long de l'une des lignes, pouvant être affectés à ces installations. A vrai dire, on ne voit guère que les terrains situés en bordure de la piste de Cointrin sur le territoire de Meyrin, au lieu-dit Feuillasse. Une étude sommaire de faisabilité a confirmé le choix de cette localisation.

Une première étape de réalisation d'un métro automatique léger doit donc s'étendre au-delà de la piste de Cointrin.

UNE PREMIERE ETAPE DE METRO A TITRE D'ILLUSTRATION

On rappellera tout d'abord qu'il s'agit avant tout d'une *hypothèse* ayant pour but d'établir un échéancier plausible de réalisation et des engagements financiers qui lui sont liés.

L'hypothèse retenue

La première étape retenue se déduit d'une manière assez évidente des considérations qui précèdent. Il s'agit en fait de l'état J-Métro (voir description détaillée en annexe), sans le tronçon traversant en voie aérienne la cité de Meyrin. La tête de ligne provisoire se situerait donc immédiatement après le franchissement de la piste de l'aéroport, à proximité du garage-atelier. Dans un premier temps, la cité de Meyrin serait desservie depuis cette station terminale par un système de bus à fréquence adaptée à celle du métro et avec d'excellentes conditions de transbordement.

Cette première étape représente un investissement abordable et constitue une première amorce de réseau déjà très performante qui compléterait et soulagerait le réseau des transports publics actuels.

L'échéancier de réalisation

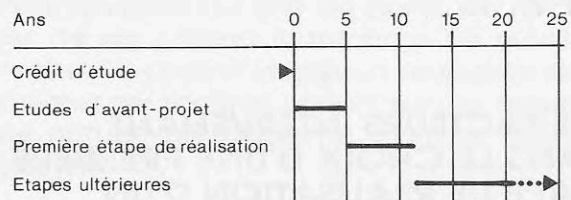
A partir de la décision de construire et de l'attribution des crédits de construction, cette première étape pourrait être mise en service au bout de sept ans environ.

Cela nécessiterait des travaux sur trois fronts :

- Le tronçon Plainpalais-Cornavin (longueur 3.3 km) réalisé depuis Plainpalais au moyen d'un bouclier à bentonite.
- Le tronçon Cornavin-Meyrin-Dépôt (longueur 4.8 km) réalisé en deux phases depuis Balexert au moyen d'un bouclier à lances.
- L'aménagement de la voie d'essai, du garage-atelier et de la station terminale provisoire de Meyrin-Dépôt à Feuillasse.

En préalable à ces travaux, il faut compter le temps nécessaire aux études, à l'obtention d'une concession et aux décisions politiques (crédit d'étude, crédit de construction,...). On peut admettre en première approximation une durée de 4 à 5 ans pour les études permettant de procéder à la demande de concession et du crédit de construction à laquelle peuvent s'ajouter les délais variables nécessaires aux décisions politiques.

La suite de la réalisation, pour aboutir à terme à un réseau de la taille de R-Métro, pourrait s'échelonner, en tenant compte des seules contraintes techniques, sur 7 à 8 années supplémentaires, soit une durée totale de réalisation d'une quinzaine d'années. Ce rythme correspond à des étapes permettant une utilisation rationnelle du matériel de creuse (tunneliers).



Echéancier plausible de réalisation

Ordre de grandeur des investissements annuels

Si l'on considère isolément la première étape présentée ci-dessus et détaillée en annexe et que l'on répartit l'investissement nécessaire à chaque tronçon linéairement par rapport à la durée des travaux et celui pour les équipements et le matériel roulant sur les quatre dernières années, il faut compter avec des tranches annuelles de 120 à 150 millions de francs par an.

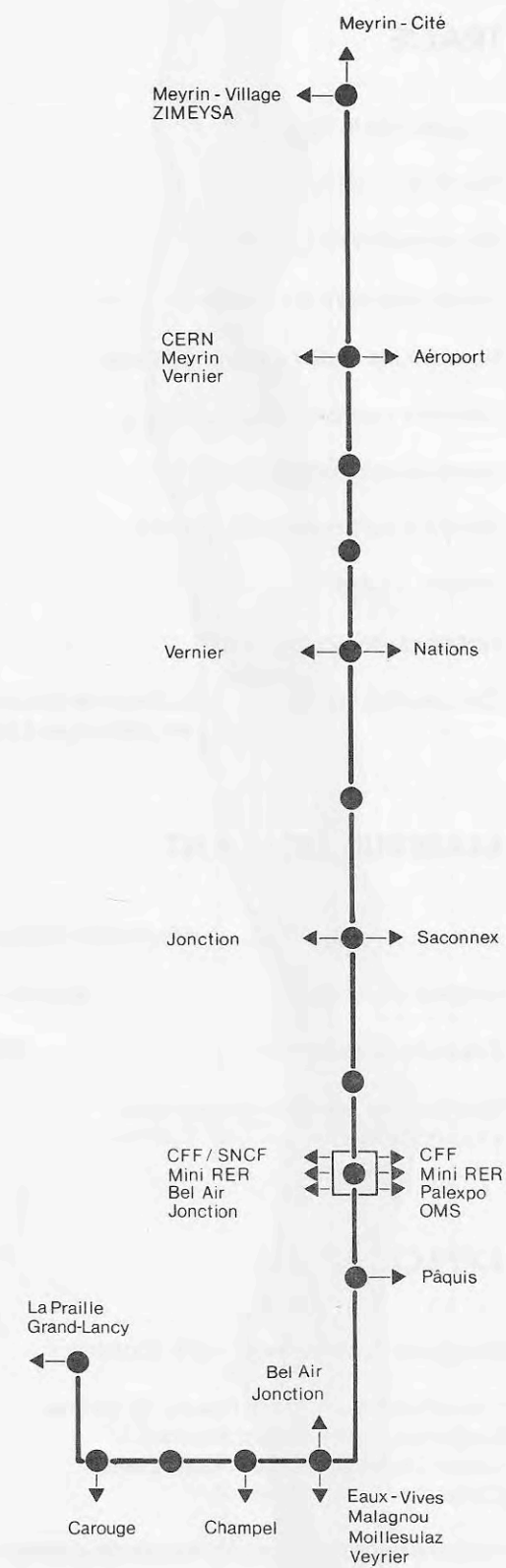
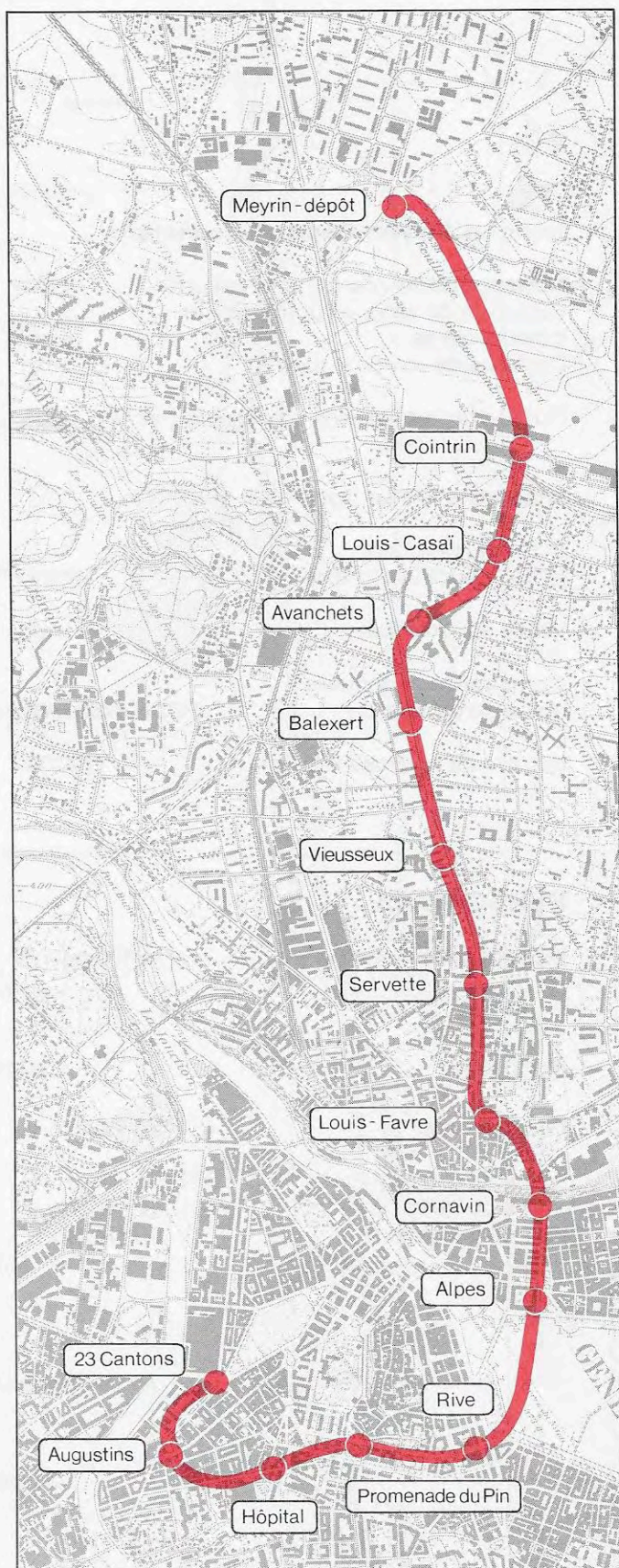
Si l'on décidait de réaliser la suite du réseau "dans la foulée", l'effort financier devrait être plus soutenu pendant quelques années si l'on souhaitait réaliser tout le réseau dans les délais autorisés par une mise en oeuvre rationnelle des moyens techniques. Un étalement plus grand serait évidemment possible pour rester dans les ordres de grandeur énoncés ci-dessus.

ANNEXE

**Ce que pourrait être
une première étape
de réalisation d'un
métro automatique
léger**

PAGE BLANCHE

LE TRACE



LES CARACTERISTIQUES EN BREF

TRACE

| | |
|--------------------------------------|--|
| Longueur de la ligne : | 9.0 km |
| Déclivité maximale : | 6% |
| Rayon minimum en ligne : | 100 m |
| Rayon minimum en entrée de station : | 50 m |
| Nombre de stations intermédiaires : | 13 |
| Distance moyenne entre stations : | 643 m |
| Distance maximale entre stations : | 1450 m |
| Distance minimale entre stations : | 430 m |
| Stations souterraines : | 14 |
| Station au niveau du terrain : | 1 |
| Conception de la ligne : | double voie (souterraine) en site propre intégral |

MATERIEL ROULANT

| | |
|--|-----------------------------|
| Type : | à déterminer ultérieurement |
| Longueur d'un convoi : | environ 26.00 m |
| Capacité d'un convoi : | 155 places |
| Nombre de convois nécessaires, y compris réserve : | 20 |

EXPLOITATION

Tronçon Avanchets - 23-Cantons

| | |
|--|---------|
| Cadence de service à l'heure de pointe : | 2 min |
| Cadence de service l'après-midi : | 3 min |
| Cadence de service à l'heure creuse : | 6 min |
| Cadence de service le soir : | 7.5 min |

Places offertes par sens à l'heure de pointe : 4650

Tronçon Meyrin-Dépôt - Avanchets

| | |
|---|---------|
| Cadence de service à l'heure de pointe : | 4 min |
| Cadence de service l'après-midi et à l'heure creuse : | 6 min |
| Cadence de service le soir : | 7.5 min |

Places offertes par sens l'heure de pointe : 2325

Ensemble de la ligne

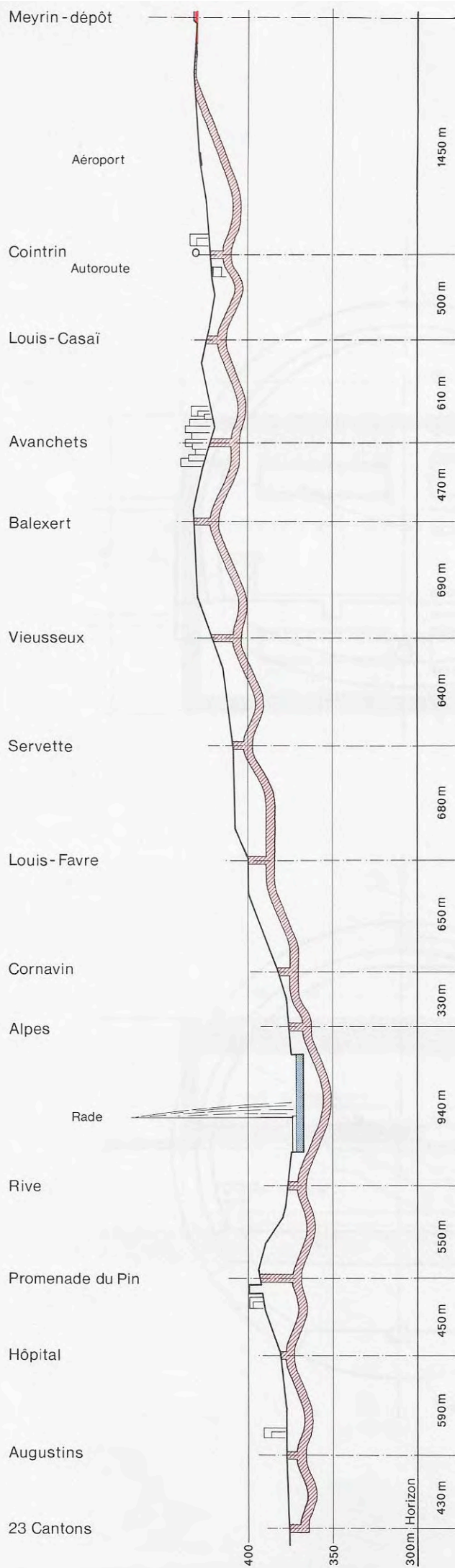
| | |
|--|-------------------|
| Durée du parcours Meyrin-Dépôt-23-Cantons : | 17 min |
| Vitesse commerciale : | 30 km/h |
| Consommation annuelle d'énergie de traction : | 4'870 à 6'480 MWh |
| Nombre de convois x km / an : | 1'620'000 |

PERSONNEL

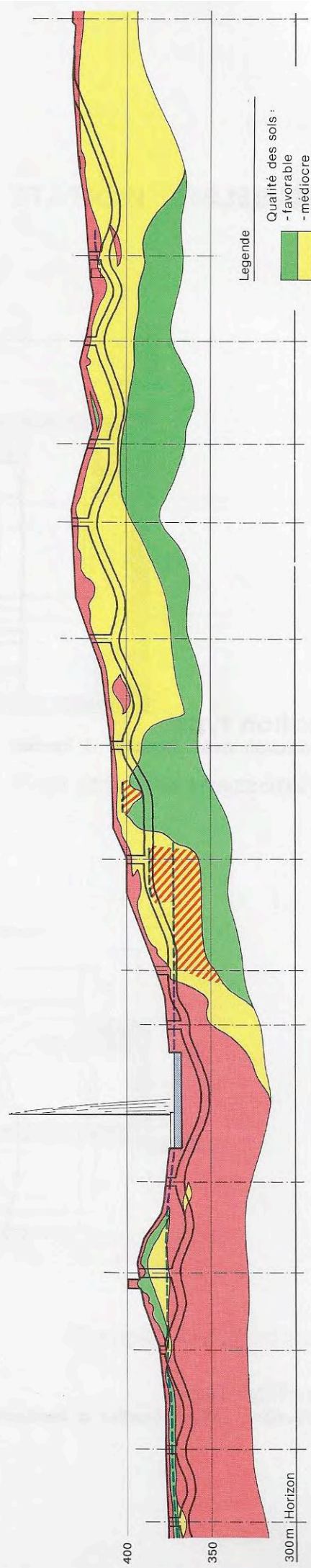
Exploitation et maintenance : 90 à 100 agents

COUTS

| | |
|--|--------------------|
| Investissements : | 955 à 995 mio. Fr. |
| Exploitation annuelle du réseau Métro : | 23 à 26 mio. Fr. |
| dont amortissements : | 12 à 14 mio. Fr. |



PROFIL EN LONG SCHEMATIQUE



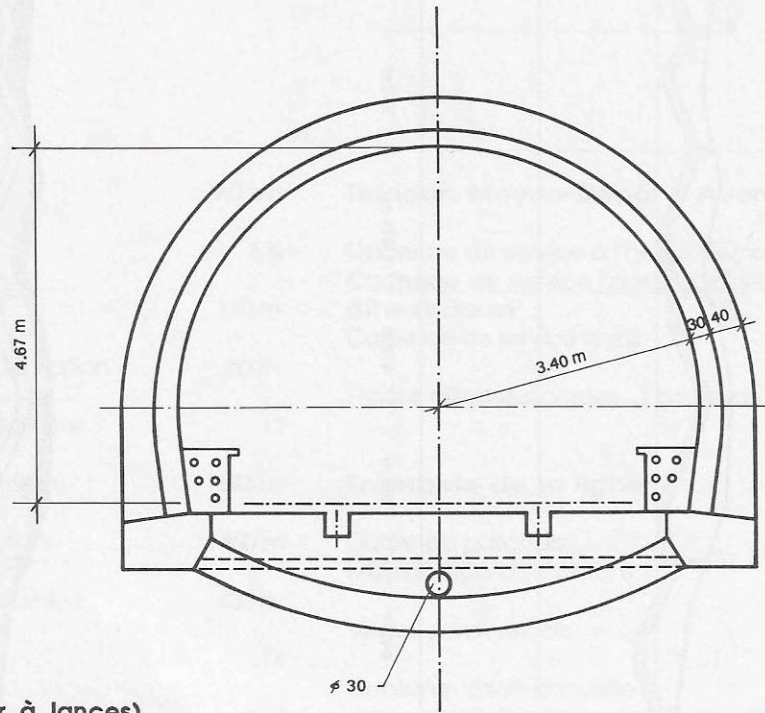
Legende

Qualité des sols :

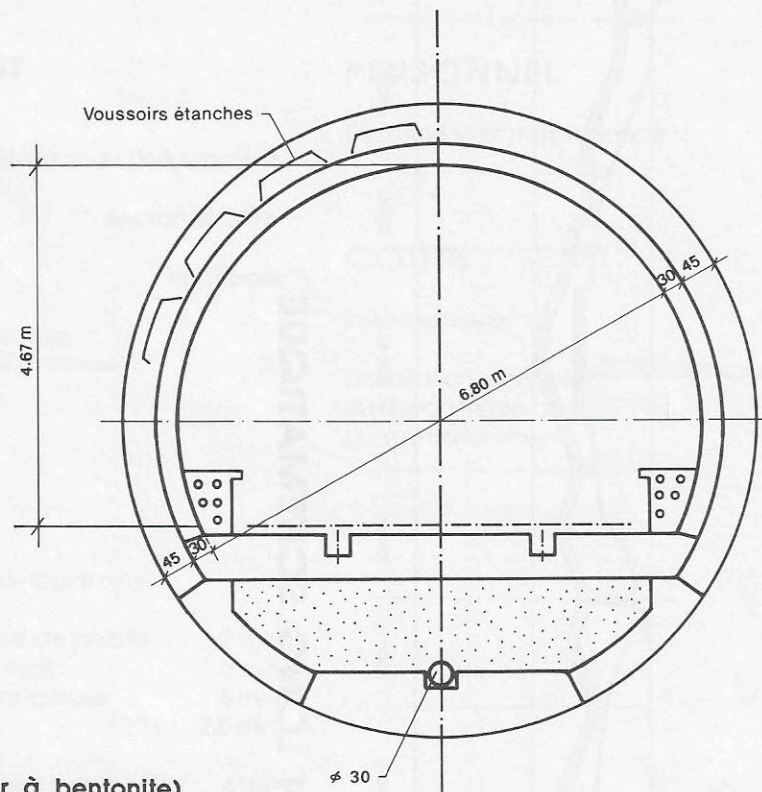
- favorable
- médiocre
- défavorable
- très défavorable

Nappes phreatiques

TUNNELS

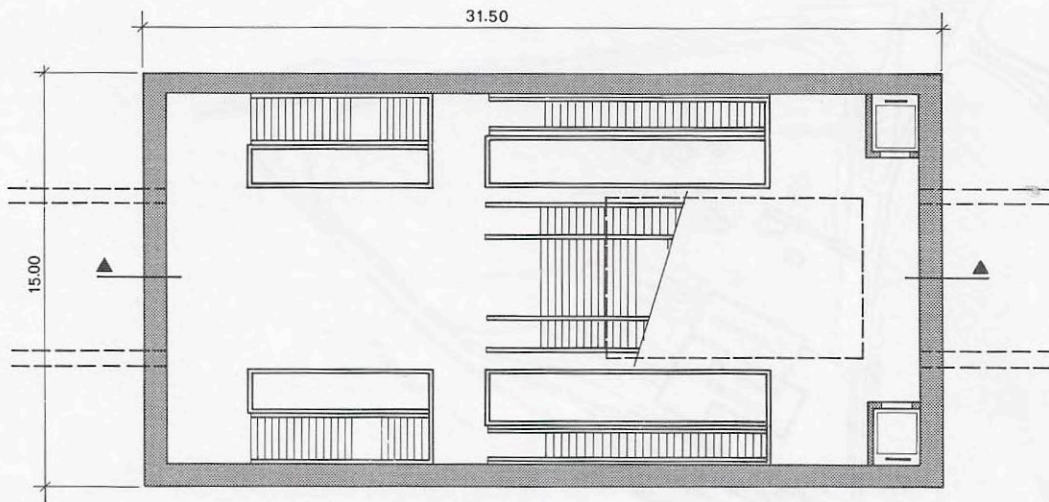


Section type
(exécution avec bouclier à lances)

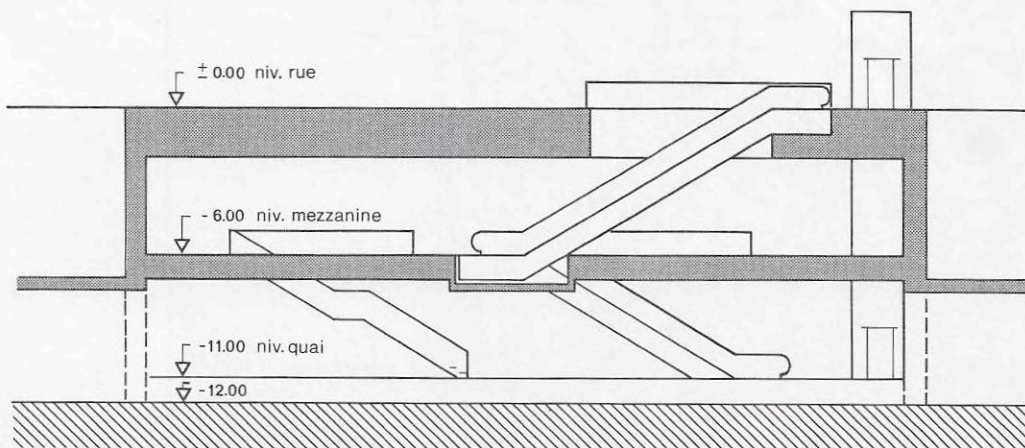


Section type
(exécution avec bouclier à bentonite)

STATION STANDARD

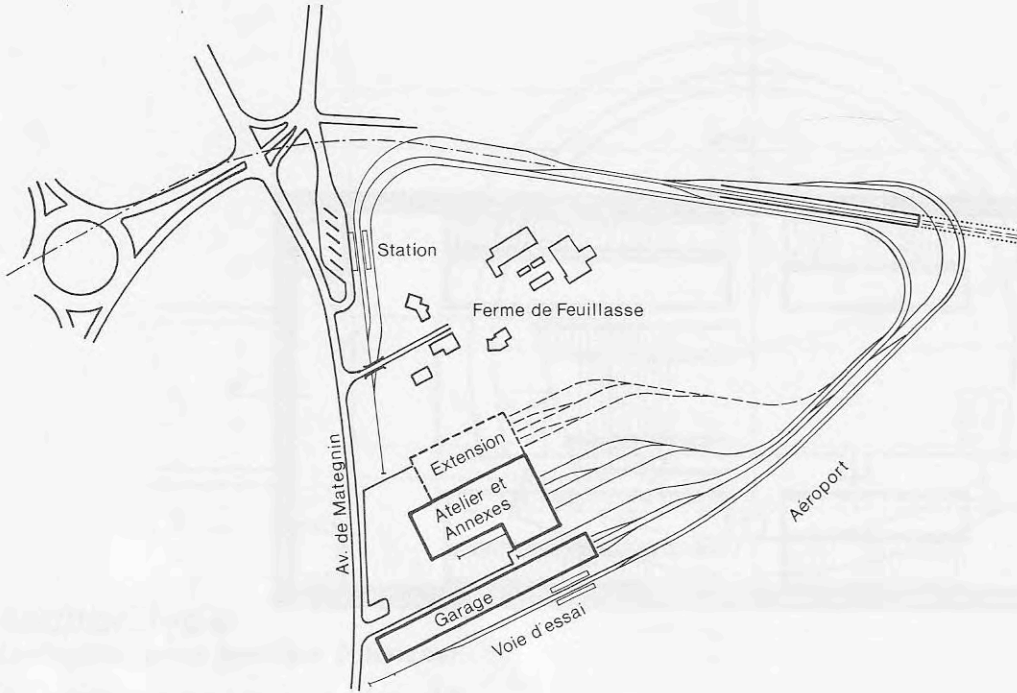


Plan (niveau mezzanine)

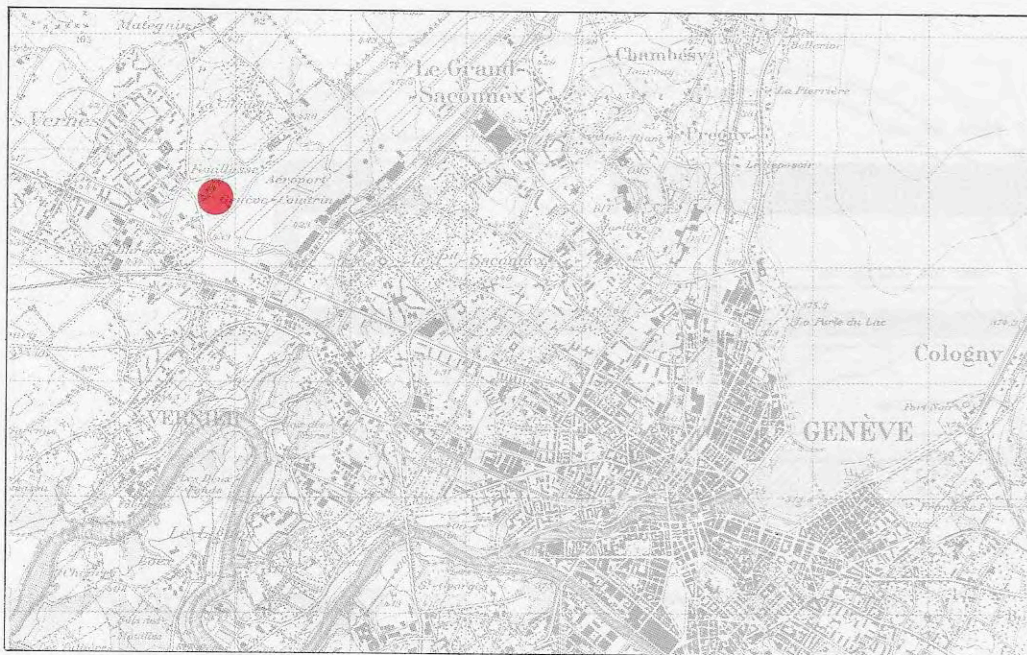


Coupe longitudinale

GARAGE-ATELIER



Plan schématique



Localisation

PAGE BLANCHE

