



**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SECURITE**

C.R.E.S.T.A

**Centre de Recherche et d'Evaluation des Systèmes
de Transport Automatisés**

Tome 1

**LES TRANSPORTS GUIDES DE SURFACE
SITUATION ACTUELLE & PERSPECTIVES**

F. KUHN

Juillet 1986 ~ 293

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
<u>INTRODUCTION</u>	3
<u>1ère PARTIE - LES TRANSPORTS URBAINS GUIDEES DE SURFACE EXISTANTS</u>	5
1. Caractéristiques générales des réseaux.....	9
2. Performances d'exploitation.....	22
3. Les sites d'implantation.....	40
4. La voie.....	55
5. Caractéristiques du matériel roulant.....	65
6. Les méthodes d'exploitation et de régulation du trafic.....	76
7. La sécurité dans l'exploitation du métro léger.....	82
<u>2ème PARTIE - LES PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES METROS LEGERS</u>	92
1. Les lignes nouvelles	94
2. L'évolution des sites	103
3. L'évolution du matériel roulant.....	106
4. Conclusion	115
<u>ANNEXES</u>	
ANNEXE I - Bibliographie générale	117
Bibliographie (2ème partie : Perspectives).....	120
ANNEXE II - Tableau récapitulatif des réseaux de métro léger dans le monde	121





LES TRANSPORTS GUIDES DE SURFACE
SITUATION ACTUELLE et PERSPECTIVES

INTRODUCTION

Après un déclin continu au cours des années 1950, les systèmes guidés de transport de surface connaissent un renouveau depuis une quinzaine d'années, soit sous forme de tramways classiques, soit, le plus souvent, sous forme de "métro léger" (Light Rail Transit - LRT en américain).

Ce renouveau se traduit :

- par des extensions de lignes existantes ou la création de lignes nouvelles dans un grand nombre de villes ;
- par le développement de matériels roulants plus confortables et plus performants ;
- par une amélioration des conditions de circulation de ces systèmes, obtenue par la mise en oeuvre de différentes méthodes :
 - . voies ou chaussées réservées,
 - . passage en tunnel dans les centres de villes,
 - . construction de lignes nouvelles sur des sites partiellement ou entièrement réservés : c'est à ce type de ligne que l'on réserve en général le qualificatif de "métro léger".

Le souci de renouveau ne s'est cependant pas encore beaucoup porté sur les conditions d'exploitation de ces transports, et rares sont les systèmes dotés de moyens d'exploitation et de régulation électroniques.

C'est pourquoi le G.R.R.T. a décidé de lancer une action de recherche sur le thème de l'automatisation des transports de surface dont l'objectif est d'examiner l'intérêt que pourrait présenter l'application de stratégies de régulation évoluées à ces systèmes, et la possibilité d'envisager à terme une conduite intégralement automatique pour ceux de ces systèmes qui bénéficient des infrastructures les mieux protégées.



Afin toutefois de justifier un tel programme de recherche, il a été jugé utile au départ de procéder à une analyse de la situation actuelle des transports de surface guidés dans le monde, et de leurs perspectives d'évolution, en apportant une attention particulière aux systèmes circulant sur des sites protégés qui apparaissent comme étant les plus susceptibles de tirer parti d'une automatisation de leur exploitation.

La méthode de travail employée a comporté 3 approches distinctes :

1. Une analyse bibliographique approfondie de la littérature existant sur ce sujet. On trouvera en annexe I au présent volume une liste des documents généraux les plus significatifs à la base de cette analyse. Cette bibliographie générale est complétée dans les volumes II et III par des listes spécifiques aux différents réseaux étudiés.
2. Une visite d'un certain nombre de réseaux dans les pays voisins :
 - . En Belgique : Bruxelles et Charleroi
 - . En Suisse : Bâle, Berne et Zürich
 - . En Allemagne fédérale : Cologne, Hanovre, Stuttgart et Nuremberg
 - . En Hollande : Utrecht
 - . En Grande Bretagne : Blackpool.
3. Une enquête en France, d'une part auprès des services du Ministère des Transports travaillant dans le domaine des transports urbains, et d'autre part auprès d'un certain nombre de villes susceptibles d'être intéressées par des tramways ou métros légers.

Le présent rapport comporte deux parties :

- Une première partie consacrée à un exposé général sur les systèmes existants,
- Une deuxième partie traitant des perspectives d'évolution dans ce domaine.

Les comptes rendus de visites en Europe et de l'analyse bibliographique sur l'Amérique du Nord ont été regroupés dans les deuxième et troisième volumes. Un quatrième volume est consacré à la France.



1ère PARTIE

LES TRANSPORTS URBAINS GUIDE'S DE SURFACE EXISTANTS



LES TRANSPORTS URBAINS GUIDEES DE SURFACE EXISTANTS

Cette étude s'est concentrée sur les systèmes guidés de surface qualifiés généralement de "légers" ou d'"intermédiaires" dans la littérature, ne circulant pas sur site entièrement propre et interférant avec la circulation générale soit sur des portions de ligne, soit sur des traversées de carrefours à niveau.

Elle exclut par conséquent :

- les métros conventionnels roulant soit en site souterrain ou sur viaduc, soit en surface sur des emprises totalement réservées et protégées ;
- les systèmes de surface "lourds" de types réseaux ferroviaires régionaux (RER parisien, S-BAHN allemand, etc....).

Cependant, cette distinction entre systèmes "légers" et "lourds" n'est pas toujours très nette, et le classement de certains réseaux dans une catégorie ou une autre peut parfois donner lieu à controverse.

Cette étude s'intéresse donc essentiellement :

- aux tramways traditionnels circulant sur la voirie urbaine, sur site totalement ou presque totalement banalisé,
- aux systèmes de type "métro léger" ("Light Rail Transit"), caractérisés par une implantation sur des emprises partiellement protégées ou séparées, voire partiellement en site propre.

On peut distinguer en effet 2 degrés de protection pour les emprises non totalement en site propre :

- les voies "réservées" ou "protégées" sont des voies situées sur la chaussée, délimitées par un marquage réalisé en général à l'aide de peinture ou en utilisant un revêtement spécifique, mais non séparées physiquement de la circulation générale ;
- les emprises "séparées", présentent en général une différence de niveau avec le reste de la voirie, situées au bord de la chaussée ou sur une zone médiane, et sont inaccessibles aux véhicules automobiles, sauf dans les traversées de carrefours qui se font à niveau.

On trouvera en annexe II un tableau utilisant des données tirées essentiellement de (3) et (14) et donnant les caractéristiques principales d'un certain nombre de lignes de tramways existant dans le monde, d'une longueur totale de 11.745 km.

Ce tableau est loin d'être exhaustif puisqu'il ne fait état que de 16 villes d'URSS totalisant 3.155 km de lignes.

Or, le document (8) publié lors du Congrès UITP de 1985 indique qu'il existe 110 villes en URSS équipées de lignes de tramways, représentant 9.332 km de voies simples, soit environ 4.700 km de voies doubles ou d'axes.

D'un autre côté, il faut prendre garde que dans ce tableau quelques villes ont pu ranger certaines lignes modernes circulant en site totalement propre dans la catégorie LRT, mais ceci ne doit pas altérer significativement l'ordre de grandeur du kilométrage total de lignes.

C'est par conséquent plus de 1.250 lignes totalisant une longueur supérieure à 13.300 km que représentent les réseaux de tramways et de systèmes de type "métro léger" existant dans le monde, dont plus de 10.000 km en Europe.

Nota : Il convient de distinguer la notion opérationnelle de lignes et la notion structurelle de voies : un même tronçon de voie peut être emprunté par plusieurs lignes ce qui donne un linéaire de lignes pour un réseau donné supérieur au linéaire de voies doubles ou d'axes.

La présente étude n'a pas pour objet de procéder à une revue détaillée de l'ensemble de ces lignes, car la bibliographie est inexistante sur la plupart d'entr'elles, et il n'a pas été possible matériellement d'aller recueillir de la documentation sur place.

Nous nous proposons, à partir des informations rassemblées au cours des quelques visites en Europe dont il est rendu compte dans le volume II, et d'une analyse bibliographique, de présenter une synthèse des caractéristiques les plus significatives des réseaux existants sur lesquels des données ont pu être recueillies.

Cette synthèse va porter tout particulièrement sur les points suivants :

- caractéristiques principales de ces réseaux,
- performances d'exploitation,
- les sites d'implantation de ces réseaux,
- la pose des voies,
- les caractéristiques du matériel roulant,
- les méthodes d'exploitation et de régulation du trafic,
- la sécurité et les statistiques d'accidents.



1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES RESEAUX



1 - CARACTERISTIQUES GENERALES DES RESEAUX

1.1. - Stratégies de développement des réseaux

Les volumes II et III montrent que la politique des différents pays vis-à-vis des tramways est variable ; c'est ainsi que l'on trouve :

1.1.1. - Les pays dont les villes gardent d'anciens réseaux et qui continuent à les entretenir et les améliorer, ce sont essentiellement :

la République Fédérale Allemande, la Suisse, la Belgique, les Pays-Bas, l'Autriche, les Etats-Unis dans une certaine mesure, le Japon et les pays de l'Est sur lesquels on ne dispose que de peu de renseignements.

En ce qui concerne les villes européennes visitées, on constate que ces villes, sans avoir de projets d'extension de leurs réseaux, cherchent à les maintenir et à en améliorer la qualité de service :

- par une extension des zones en site protégé, voire une mise en site propre intégral dans certaines villes comme Stuttgart, Hanovre, Cologne, Bruxelles (Prémétro).
- par un renouvellement du parc de matériel roulant et la mise en oeuvre de matériels mieux adaptés sur le plan de la capacité, du système de traction et de freinage, des accès, du confort....
- par des mesures d'exploitation telles que la priorité aux feux, le contrôle centralisé, la signalisation ferroviaire dans les zones en site propre intégral.

On note cependant que dans la plupart de ces villes il existe une tendance à diminuer le linéaire de ces lignes, la philosophie générale consistant :

- à ne conserver que les lignes de tramways dont la qualité de service est bonne ou peut être améliorée et dont le volume de trafic est suffisant,
- à remplacer les autres lignes par des services d'autobus et trolleybus plus souples.

L'utilisation intégrée du métro léger, des autobus et trolleybus exige des stations de correspondance auxquelles on joint des parkings de dissuasion pour les automobilistes.

L'évolution entre 1967 et 1983 du linéaire des réseaux visités est notée dans le tableau ci-dessous :

Linéaire des réseaux (en km de lignes)

Ville	Année	1967	1973	1975	1977	1983	Observations
^ BALE		64,5	74,5	61,2	61,1	61,1*	* B.V.B. seulement
BERNE		13,6	13,6	17,6	17,6	17,6	
ZÜRICH		119,7	102,6	102,5	104,6	110,7	
COLOGNE		306,1	258,2	249	248,6	232,5	
HANOVRE		179,3	181,2	184,6	161,9	155,1	
NUREMBERG		183,2	148,2	152	103	67	
STUTTGART		230	176,9	172,6	171,7	177,3	
BRUXELLES		202	184	286,6	241	235	
	205*	121*					* Réseau de la SNCV
CHARLEROI				131		108	
UTRECHT						17,7	Ligne mise en service en Déc. 83
BLACKPOOL		18	17,7			18,4	

Source : Recueil U.I.T.P. des Transports Publics respectivement en 1968 et 1975.

LEA TRANSIT COMPENDIUM Light Rail Transit - Vol. II - n° 5 - 1975.

- pour l'année 1977 des documents SODETRANS pour la R.F.A. et la Suisse, de la S.T.I.B. pour Bruxelles,
- pour l'année 1983 des données obtenues auprès des réseaux.

.../

Il apparaît sur ce tableau que le linéaire des 3 réseaux Suisses reste sensiblement identique si ce n'est quelques prolongements de lignes vers les quartiers neufs en périphérie depuis 1975 à Berne et à Zürich.

Le linéaire des 4 réseaux de tramways Allemands a baissé depuis 1967, époque à laquelle ont commencé les travaux de mise en souterrain des réseaux de tramways dans le centre des villes. Cette baisse varie de 13,5% pour Hanovre à 23 et 24% pour Stuttgart et Cologne, mais plus de 63% pour Nuremberg qui a mis en service un métropolitain.

Le linéaire des réseaux Belges a baissé de l'ordre de 42% pour Bruxelles qui a mis en service un métropolitain.

Le réseau de Blackpool maintient son unique ligne en bord de mer (de caractère touristique) avec un linéaire identique depuis 1960.

Dans un deuxième tableau, on compare l'évolution des longueurs de voies des réseaux précédents entre 1973 et 1983.

Contrairement au linéaire de lignes, le linéaire de voies des réseaux est plus stable et a même tendance à augmenter pour certaines villes.

Deux de ces villes, Nuremberg et Bruxelles, ont mis en service un métropolitain ; la ville de Stuttgart met progressivement son réseau en site séparé à voie normale dans un environnement topographique tourmenté.

Ce deuxième tableau montre que les réseaux réorganisent leur exploitation, suppriment des lignes, mais que le linéaire de voies se stabilise depuis une dizaine d'années.

.../

Ville	Année	1973	1977	1983
BALE		47,0	54	61,1
BERNE		13,6	13,9	13,7
.. ZURICH		60	61,6	67,6
COLOGNE		130	143,1	151,3
HANOVRE		88,5	86,3	91,38
NUREMBERG		69,8	63	47,4
STUTTGART		125,6	121	114,7
BRUXELLES		167	159	146,9
CHARLEROI			131	108
UTRECHT				17,7
BLACKPOOL		17,7	18,4	18,4

.../

1.1.2. - Les pays qui avaient abandonné totalement ou presque leurs réseaux de tramways dans les années d'après guerre et dans lesquels on assiste actuellement à un renouveau du tramway ou du métro léger, sont par exemple :

- Les Pays-Bas
- La France
- La Grande-Bretagne
- L'Italie
- Les U.S.A.
- etc....

Dans ces pays, un certain nombre de projets et de réalisations ont vu le jour ces dernières années :

- En France : Nantes, Grenoble, Bobigny
- En Grande-Bretagne : Birmingham, Manchester, Edinburgh, Sheffield ont des projets de réseau de métro léger.
- En Italie : Bologne, Gênes, Rome, Turin
- Aux U.S.A. : San Diego, Los Angeles, Sacramento.

Cependant, ces projets restent limités et dans ces pays on constate une certaine concurrence entre les systèmes du type métro léger et les systèmes automatiques en site propre intégral. Exemple : les projets de Toulouse, Strasbourg, Londres (Docklands) Toronto (Scarborough).

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

1.2. - Implantation des réseaux

La taille des villes desservies par les réseaux de tramways ou métro léger est très variable selon les Continents, comme le montrent les tableaux et les histogrammes suivants (fig. 1 à 5).

Ces histogrammes font apparaître que la taille des villes les mieux adaptées au métro léger se situe entre 100.000 et 700.000 habitants.

Toutefois, on trouve encore de nombreux réseaux de métro léger dans des villes allant jusqu'à 1,5 million d'habitants, où ils cohabitent parfois avec des métros lourds.

A contrario, le dernier histogramme (fig. 5) illustrant la répartition des réseaux de métros lourds dans le monde, montre que le marché de ces métros commence pratiquement par des agglomérations d'au moins 600.000 habitants.

Tranche de population de l'agglomération	Ville	Nombre de villes dans la catégorie
- inférieure à 100.000 hab.	Neuchâtel	1
- de 100.000 à 200.000 hab.	Berne, Fribourg, Innsbruck, Mülheim, Trondheim, Würzburg	6
- de 200.000 à 300.000 hab.	Bielefeld, Blackpool, Darmstadt, Gand, Genève, Graz, Heidelberg, Kassel, Linz, Mayence, Utrecht	11
- de 300.000 à 400.000 hab.	Augsbourg, Bâle, Bonn, Brno, Brunswick, Charleroi, Karlsruhe, Mannheim, St-Etienne	9
- de 400.000 à 500.000 hab.	Göteborg, Helsinki, Krefeld, Nantes, Oslo, Wuppertal	6
- de 500.000 à 600.000 hab.	Anvers, Brême, Leipzig, Poznan, Zürich	5
- de 600.000 à 700.000 hab.	Dortmund, Duisburg, Essen, La Haye, Nuremberg	5
- de 700.000 à 800.000 hab.	Rotterdam, Odessa, Riga	3
- de 800.000 à 900.000 hab.	Amsterdam, Dresde, Hanovre, Stuttgart	4
- de 900.000 à 1.000.000 hab.	Bochum/Gelsenkirchen, Cologne, Francfort, Kouïbishev, Lisbonne, Volgograd, Rostov	7
- de 1.000.000 à 1.100.000 hab.	Bruxelles, Düsseldorf, Lodz, Marseille, Sofia, Turin, Tbilisi, Dniepropetrovsk	8
- de 1.100.000 à 1.200.000 hab.	Prague	1
- de 1.300.000 à 1.400.000 hab.	Kharkov, Munich, Minsk	3
- de 1.400.000 à 1.500.000 hab.	Bakou, Belgrade	2
- de 1.600.000 à 1.700.000 hab.	Vienne, Milan, Varsovie	3
- de 2.000.000 à 2.100.000 hab.	Budapest, Kiev	2
- de 2.100.000 à 2.200.000 hab.	Bucarest	1
- 3.000.000 hab.	Rome	1
- 4.250.000 hab.	Léningrad	1
- 7.800.000 hab.	Moscou	1
		80 villes

Cet histogramme montre que le plus grand nombre de villes se situe au-dessous de 1.000.000 d'habitants, et plus particulièrement dans les tranches de 200.000 à 400.000 habitants.

Au-dessus de 1.100.000 habitants, on trouve une dizaine de villes qui ont un réseau de métro léger complémentaire du réseau de métropolitain.

Un deuxième histogramme montre pour l'Amérique du Nord :

Population de l'agglomération	Ville	Nombre de villes dans la tranche
- de 400.000 à 500.000 hab.	Edmonton, Fort Worth	2
- de 500.000 à 600.000 hab.	New Orléans	1
- de 600.000 à 700.000 hab.	Calgary	1
- de 800.000 à 900.000 hab.	San Diego	1
- de 1.000.000 à 2.000.000 hab.	Buffalo, Cleveland, Pittsburg, Newark, Détroit	5
- de 2.000.000 à 3.000.000 hab.	San Francisco, Boston, Toronto	3
- plus de 3.000.000 hab.	Mexico, Philadelphie	2
		15 villes

Sur cet histogramme, concernant seulement 15 villes dont une a un réseau privé desservant un centre commercial (Tandy à Fort Worth), on note que les villes concernées par un métro léger s'échelonnent dans les tranches de 400.000 à 2.000.000 d'habitants.

.../

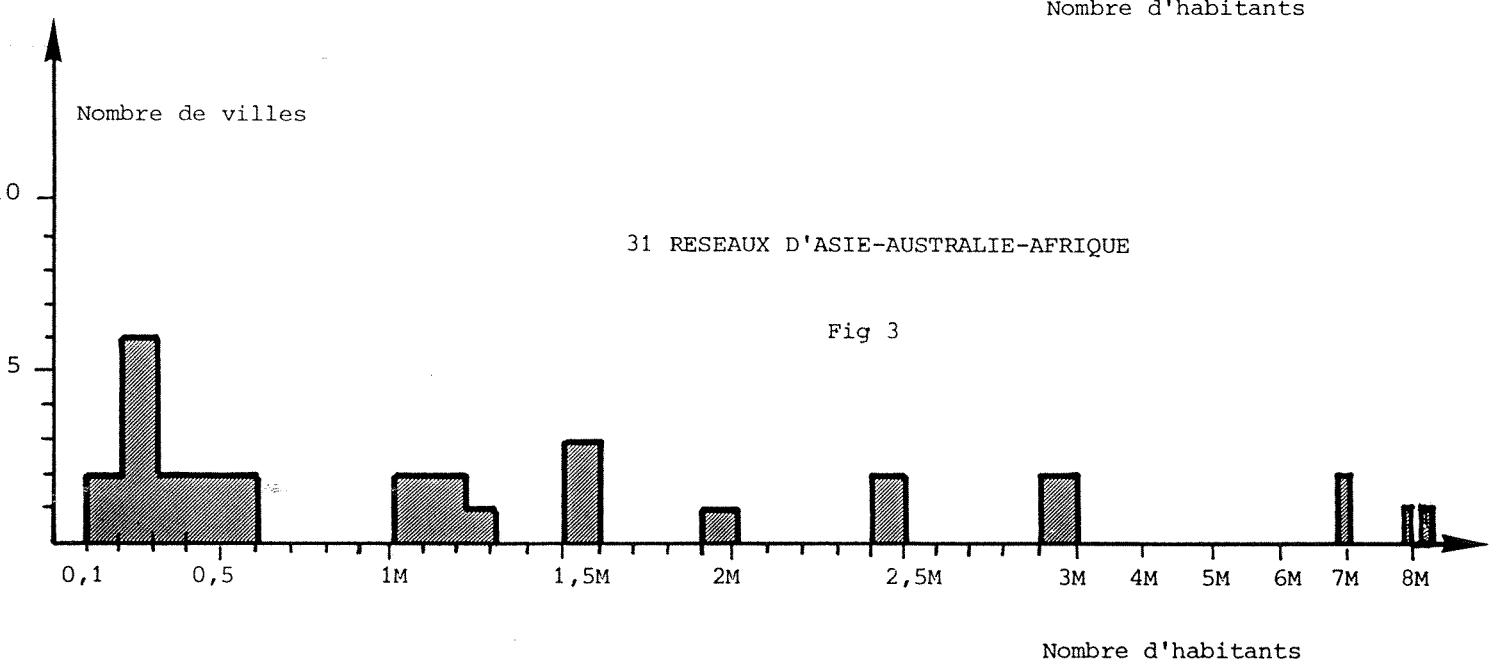
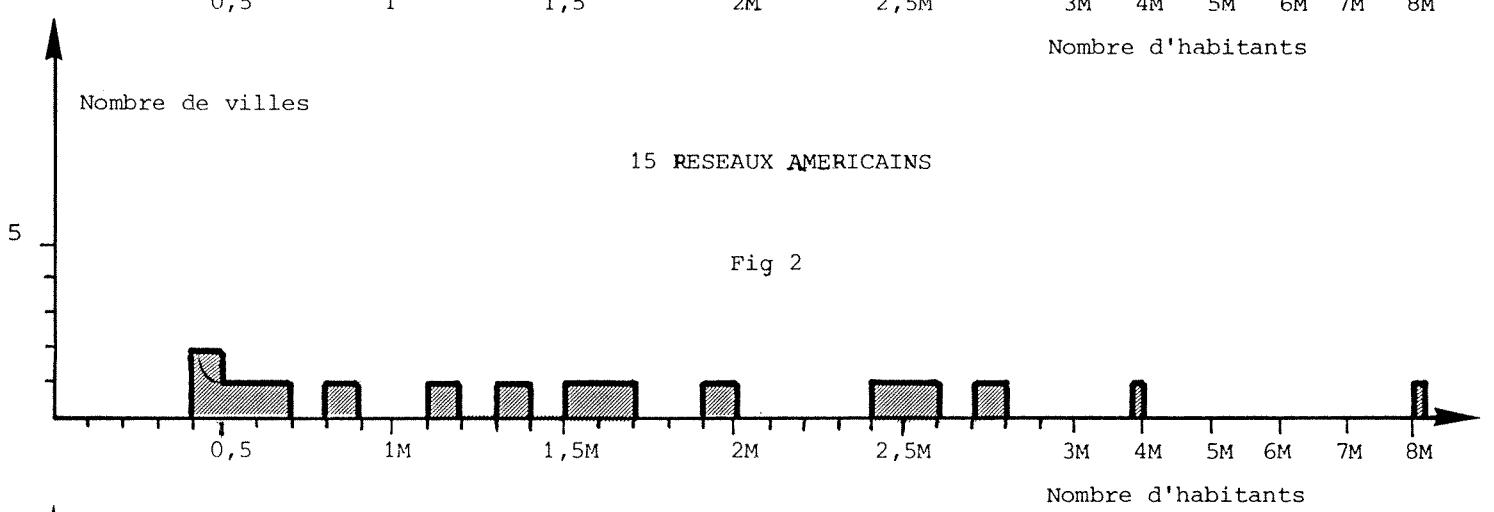
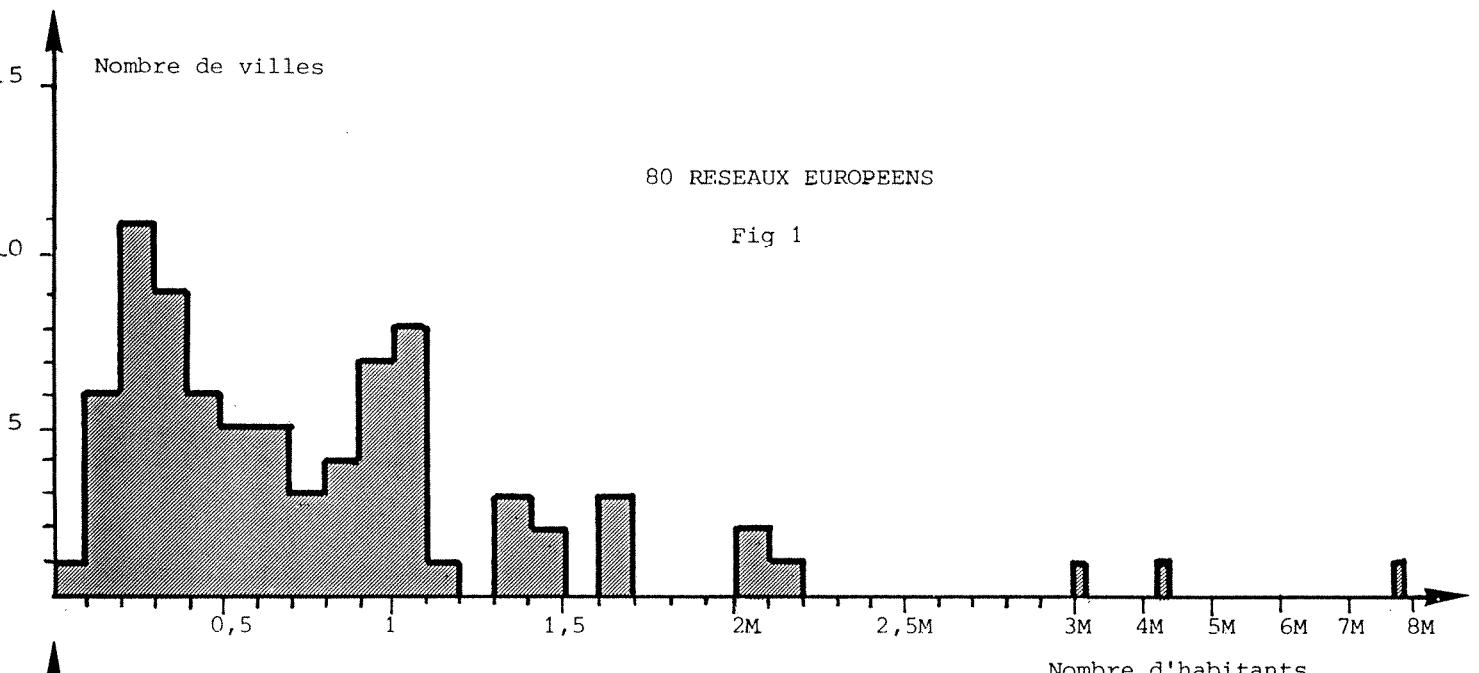
Un troisième histogramme reprenant les villes d'Asie, d'Australie et d'Afrique :

Tranche de population de l'agglomération	Ville	Nombre de villes dans la tranche
- moins de 200.000 hab.	Otsu, Takaoka	2
- de 200.000 à 300.000 hab.	Fujisawa-Kamakura, Fukui, Hakodate, Kochi, Toyama, Toyohashi	6
- de 300.000 à 400.000 hab.	Gifu, Matsuyama	2
- de 400.000 à 500.000 hab.	Kumamoto, Nagasaki	2
- de 500.000 à 600.000 hab.	Kagoshima, Okayama	2
- de 1.000.000 à 1.100.000 hab.	Adelaide, Alma-Ata	2
- de 1.100.000 à 1.200.000 hab.	Hiroshima, Tunis	2
-- de 1.200.000 à 1.300.000 hab.	Novossibirsk	1
- de 1.500.000 à 1.600.000 hab.	Kyoto, Sapporo	2
- de 1.600.000 à 2.000.000 hab.	Tachkent	1
- de 2.000.000 à 2.500.000 hab.	Alexandrie, Ankara	2
- de 2.500.000 à 3.000.000 hab.	Osaka, Melbourne	2
- de plus de 5.000.000 hab.	Hong Kong, Calcutta, Manille, Le Caire, Tokyo	5
		31 villes

Cet histogramme montre que pour 31 villes d'Asie, d'Australie et d'Afrique, 14 villes se situent dans les tranches de 100.000 à 600.000 habitants, toutes ces villes étant Japonaises.

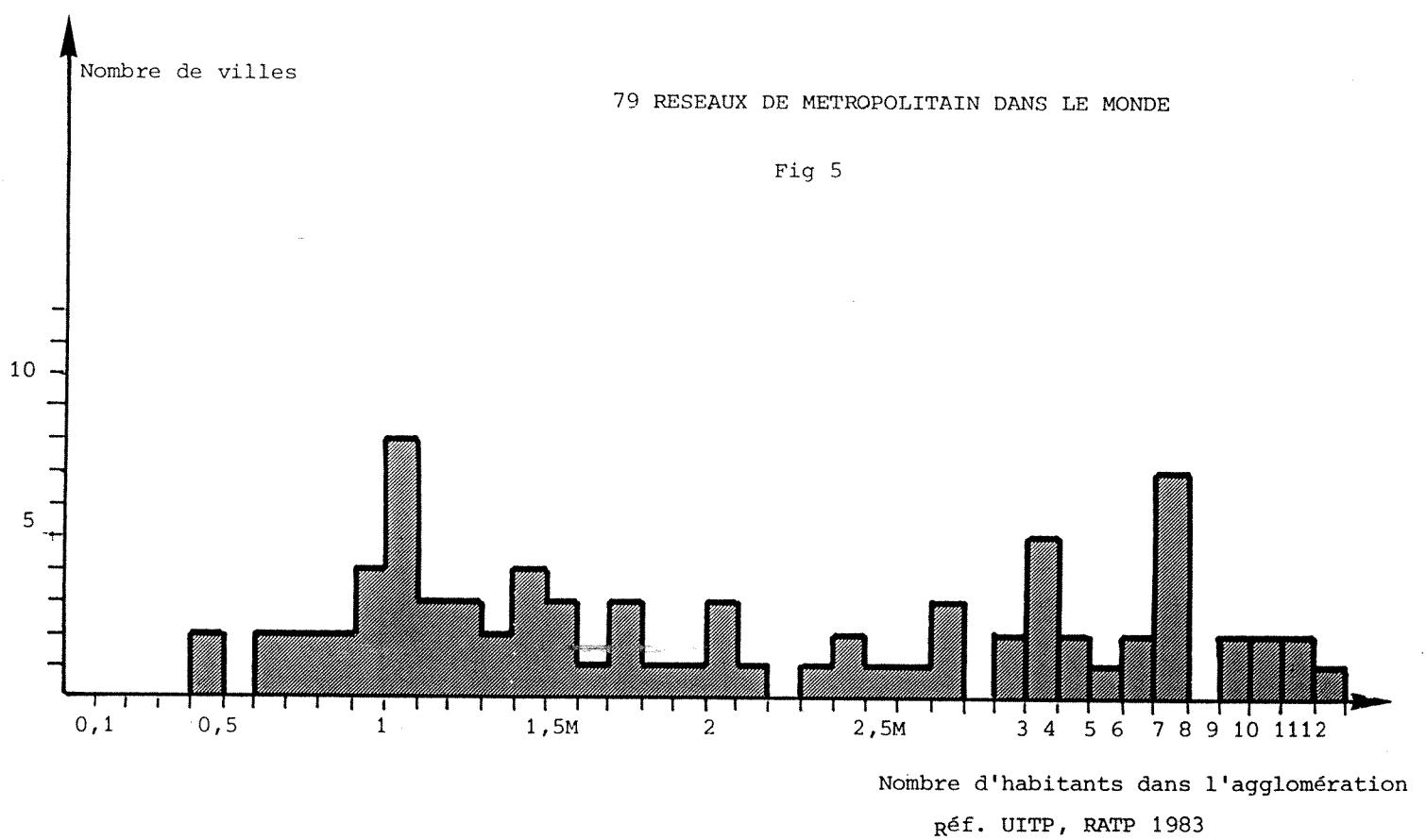
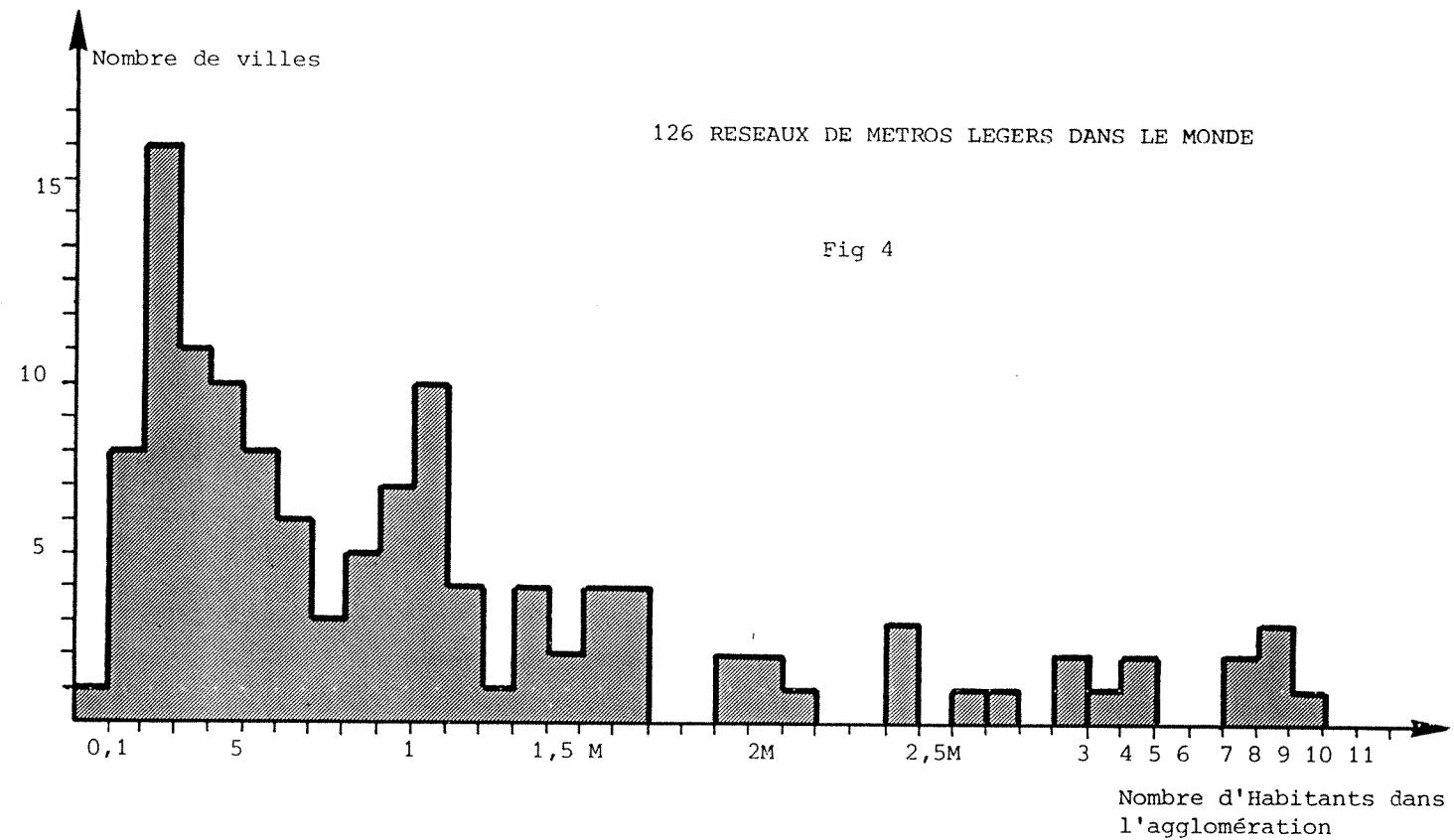
Ensuite, on trouve 7 villes dans les tranches de 1.000.000 à 1.600.000 habitants, puis 10 villes se situant dans les tranches supérieures de 2.000.000 à 11.000.000 d'habitants.

A part les villes Japonaises qui se rapprochent des villes Européennes, les villes d'Asie ayant un métro léger se situent dans les tranches supérieures à 1.000.000 d'habitants.

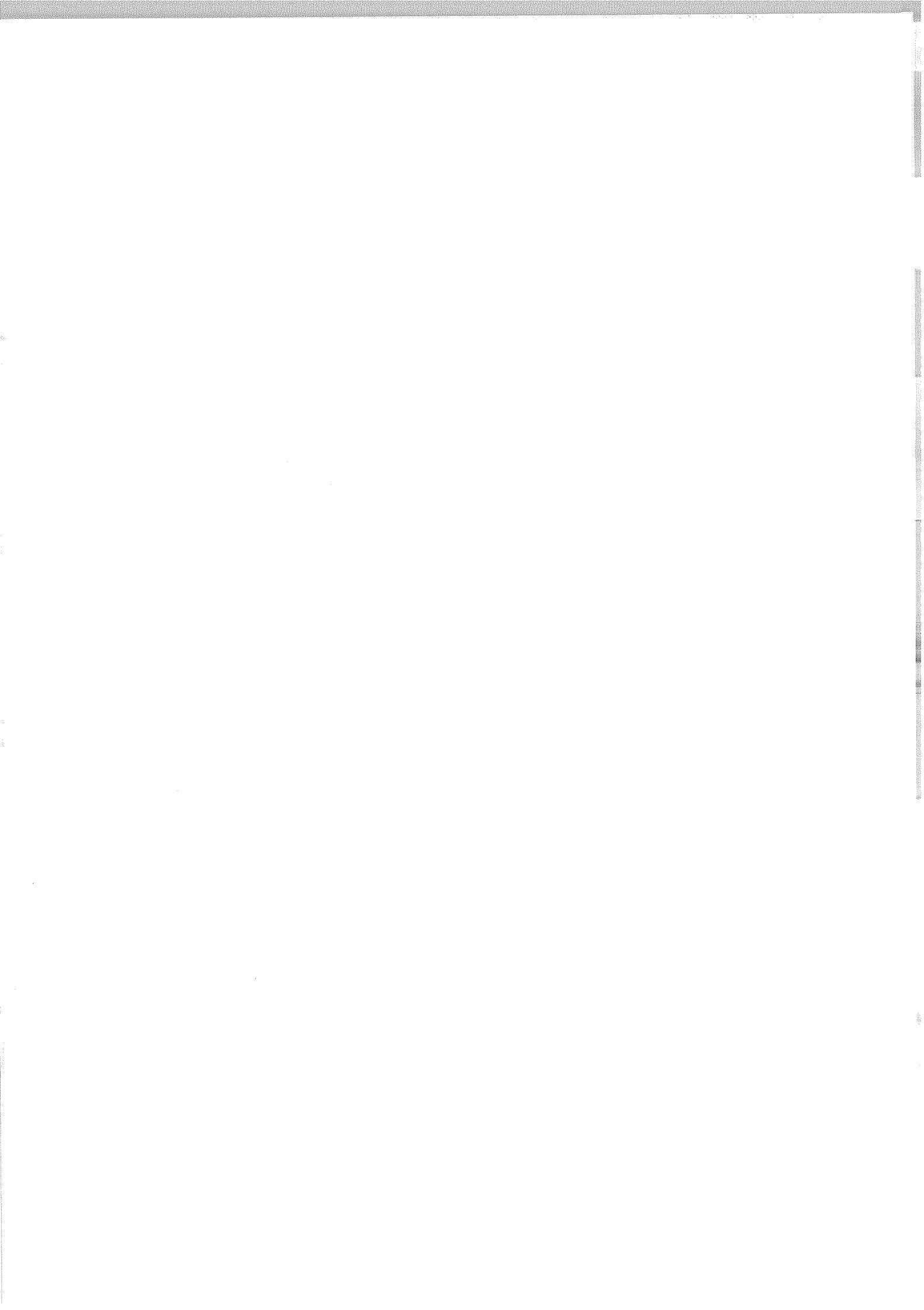


Répartition des réseaux de Métro lourd dans le Monde (cf. Histogramme fig. 5)

Tranche de population de l'agglomération	Ville	Nombre de villes dans la catégorie
- de 400.000 à 500.000 hab.	Wuppertal, Oslo	2
- de 600.000 à 700.000 hab.	Nüremberg, Sendai	2
- de 700.000 à 800.000 hab.	Helsinki, Rotterdam	2
- de 800.000 à 900.000 hab.	Amsterdam, Séville	2
- de 900.000 à 1.000.000 hab.	Fukuoka, Koniibychev, Lille, Lisbonne	4
- de 1 M. à 1,1 M. hab.	Marseille, Lyon, Erevan, Berlin Est, Bruxelles, Dniepropetrovsk, Tbilisi, Sverdlovsk	8
- de 1,1 M à 1,2 M. hab.	Newcastle, Prague, Sofia	3
- de 1,2 M à 1,3 M. hab.	Gorki, Minsk, Novossibirsk	3
- de 1,3 M à 1,4 M. hab.	Kobé, Munich	2
- de 1,4 M à 1,5 M. hab.	Bakou, Kyoto, Sapporo, Stockholm	4
- de 1,5 M à 1,6 M. hab.	Cleveland, Vienne, Miami	3
- de 1,6 M à 1,7 M. hab.	Milan	1
- de 1,7 M à 1,8 M. hab.	Atlanta, Baltimore, Kharkov	3
- de 1,8 M à 1,9 M. hab.	Tachkent	1
- de 1,9 M à 2 M. hab.	Berlin Ouest	1
- de 2 M à 2,1 M. hab.	Kiev, Budapest, Naples	3
- de 2,1 M à 2,2 M. hab.	Bucarest	1
- de 2,3 M à 2,4 M. hab.	Hambourg	1
- de 2,4 M à 2,5 M. hab.	San Francisco, Glasgow	2
- de 2,5 M à 2,6 M. hab.	Boston	1
- de 2,6 M à 2,7 M. hab.	Montréal	1
- de 2,7 M à 2,8 M. hab.	Yokohama, Washington, Toronto	3
- de 2,9 M à 3 M. hab.	Rome, Athènes	2
- de 3 M à 3,1 M. hab.	Barcelone	1
- de 3,4 M à 3,5 M. hab.	Pusan, Caracas, Madrid	3
- de 3,9 à 4 M. hab.	Philadelphie	1
- de 4 M à 5 M. hab.	Léningrad, Santiago	2
- de 5 M à 6 M. hab.	Hong Kong	1
- de 6 M à 7 M. hab.	Londres, Chicago	2
- de 7 M à 8 M. hab.	Séoul, Paris, Calcutta, Moscou, Nagoya, Osaka, Tianjin	7
- de 9 M à 10 M. hab.	Pékin, Rio	2
- > à 10 M. hab.	Tokyo, Sao Paulo, Buenos Aires, Mexico, New York	5
		79 villes



2. LES PERFORMANCES D'EXPLOITATION



2 - LES PERFORMANCES D'EXPLOITATION

2.1. - La vitesse commerciale

Les tramways sont pénalisés par les perturbations dues à la circulation générale, et il leur est souvent reproché une vitesse commerciale insuffisante.

C'est l'une des raisons pour lesquelles de nombreuses lignes et réseaux ont été supprimés au cours de ces 50 dernières années.

C'est également l'une des raisons pour lesquelles les villes qui ont conservé leurs réseaux de tramways cherchent à en améliorer la qualité de service :

- en séparant autant que faire se peut les plateformes de tramways de la circulation générale,
- en donnant la priorité aux transports collectifs aux points de conflits que constituent les carrefours à niveau avec la circulation générale.

Pour juger de l'efficacité de ces mesures, nous présentons ci-dessous :

- d'une part un tableau montrant l'évolution des vitesses commerciales des réseaux européens visités,
- d'autre part, à titre comparatif, le tableau (cf. Tome 3) des performances des différents réseaux américains existants.

Si l'on considère les vitesses commerciales moyennes de chacun des réseaux visités, entre les années 1966 et 1983 (cf. tableau ci-dessous), on voit que la tendance générale est à l'augmentation sensible de ces vitesses, cette augmentation n'étant cependant pas directement proportionnelle à l'accroissement du pourcentage de mise en site séparé réalisée sur le réseau.

Ceci est peut être dû au fait que sur les parties banalisées de ces réseaux, l'augmentation du trafic automobile et l'accroissement parallèle du nombre de feux de signalisation ont entraîné une aggravation des conditions de circulation des tramways qui compense partiellement les gains obtenus par le développement de sites propres et séparés.

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

On note en particulier qu'aucun réseau ancien n'a une vitesse commerciale de l'ordre de celle d'un réseau nouveau entièrement construit aux normes en site séparé tel que celui d'Utrecht dont la vitesse commerciale atteind 29 km/h.

Les réseaux Allemands essaient de se rapprocher de cette vitesse commerciale : sur le réseau d'Hanovre, la vitesse commerciale atteint 26 km/h sur une ligne ; le réseau de Stuttgart, qui doit encore convertir une partie de ses voies à l'écartement normal pour utiliser son nouveau matériel roulant, prévoit une vitesse commerciale de 25 km/h.

Sur le réseau de Cologne la vitesse commerciale moyenne atteint 23,5 km/h, mais sur la ligne 1 la vitesse commerciale atteint 32,2 km/h, sur la ligne 9, 30,5 km/h, sur la ligne 16 entre Cologne et Bonn elle atteint 35,3 km/h.

Les réseaux Suisses, qui ont très peu de site séparé (sauf Bâle 40%), ont des vitesses commerciales inférieures à 20 km/h, sauf le réseau de Bâle où la vitesse commerciale atteint 26 km/h en périphérie.

A Bruxelles, la création d'une ligne de métropolitain sur la plateforme du prémétro a réduit d'autant le pourcentage de site propre du prémétro, et la vitesse commerciale moyenne des tramways s'est stabilisée depuis 1973 à 17 km/h. Sur les tronçons de prémétro non encore convertis au métro, la vitesse commerciale est de 23 km/h. En périphérie, en site séparé sur la ligne 44, la vitesse commerciale de cette ligne atteint 26,9 km/h.

Le réseau de Charleroi est encore un réseau aux anciennes normes soumis à de nombreuses déviations pour raison de travaux (mise en site séparé) et la vitesse commerciale est de 21 km/h ; l'exploitant a pour objectif, lorsque le réseau sera conforme aux normes de métro léger et qu'il pourra enfin utiliser son nouveau matériel roulant, d'atteindre la vitesse commerciale de 30 km/h.

Tableau 1

Evolution des vitesses commerciales et pourcentage de linéaire en site séparé
au cours des dernières années

Ville	En 1966	En 1973	En 1977	En 1983	Observations
Bruxelles	14,8 km/h	17 km/h 52%	17 km/h 40%	17,17 km/h 45,47%	Sur les tronçons de Prémétro, la vitesse est de 23 km/h, en périphérie de 26,9 km/h (ligne 44)
Charleroi		18 km/h * à 27 km/h 38%	20 km/h 40%	21 km/h 50%	V.C. sur ancien réseau : 19,5 km/h V.C. sur réseau modernisé (80% de S.S) 24,5 km/h
Utrecht			0	29 km/h 95%	
Hanovre	-Ligne A : 18,9 km/h -Ligne B Nord : 20,9 km/h -Ligne B Sud : 20,7 km/h	20,7 km/h 38%	20,1 km/h 53%	-Ligne A : 22,1 km/h -Ligne B Nord : 26 km/h -Ligne B Sud : 24,4 km/h	En 1983, 68% de site propre et séparé
Cologne	18,6 km/h	22,1 km/h (32 en tunnel) 64%	22,7 km/h 72%	23,5 km/h 81,4%	La vitesse la plus élevée est enregistrée sur la ligne 13 : elle est de 45 km/h sur une section de 7,5 km
Stuttgart	17,3 km/h	19,45 km/h 37%	19,51 km/h 37%	20,2 km/h 68,33%	Avec l'arrivée du nouveau véhicule DT8, la SSB envisage d'atteindre 25 km/h de vitesse commerciale
Zürich	14,2 km/h 15,8	15,5 km/h 6%	15 km/h 9%	13 à 15 km/h 15,4%	
Berne	14,14 km/h	14,8 km/h 8%	14,7 km/h 12%	16 km/h 15,3%	
Bâle	16,5 km/h	16,3 km/h 29%	17,71 km/h 40,37%	12,9 à 26,1 km/h 56,5%	Réseau BVB + BLT.

* CHARLEROI : 18 km/h sur réseau urbain

27 km/h sur réseau interurbain sur la ligne la plus rapide. .../

Ville	En 1966	En 1973	En 1977	En 1983	Observations
Nuremberg	16,1-17,4 km/h	16,9 km/h 30%	16,7 km/h 46%	37,7%	
Blackpool		20,9 km/h	20,9 km/h 94,5%	20,9 km/h 94,5%	

- Nota : - Le premier nombre représente la vitesse commerciale moyenne du réseau en km/h.
- Le deuxième nombre est le pourcentage du linéaire en site propre et site séparé de l'ensemble du réseau.
 - Les sources :
 - . Les statistiques des Transports Publics Urbains U.I.T.P. de 1968 et 1975.
 - . Les tramways en Suisse et en R.F.A. par SODETRANS de 1979.

La tableau 1 trop global ne permet pas de mettre clairement en évidence l'incidence de l'amélioration de la situation de la plateforme des voies sur l'évolution des vitesses commerciales des réseaux qui, néanmoins, ont augmenté sensiblement depuis 20 ans.

Aussi, pour montrer l'influence du type de site sur la vitesse commerciale d'un réseau, nous analysons à titre d'exemple cette incidence ligne par ligne sur le réseau de COLOGNE (Réf. 16) : les vitesses commerciales moyennes ont été relevées dans une station du centre-ville, NEUMARKT, pour les véhicules en provenance des terminus des lignes passant par cette station. Pour chacune de ces lignes, apparaît dans le tableau 1 bis le pourcentage de types de sites parcourus :

n° ligne	Terminus concerné	Linéaire en km	Vc en km/h	Propre intégral				Séparé chemin de fer				Séparé				Type de site	
				en km	en %	en km	en %	en km	en %	en km	en %	en km	en %	en km	en %	Banal	
1	BENSBERG	16,1	32,2	4,2	26	10,4	64,6	1,5	9,3	-	-	-	-	-	-	-	-
9	KÖNIGSFORST	12	31,5	4,8	40	4,2	35	2,2	18,3	0,8	6,6	-	-	-	-	-	-
11	SLABYSTR.	5	30,4	5	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	CHORWEILER	15,6	29,5	8	51,2	-	-	-	-	6	38,4	1,6	10,25	-	-	-	-
7	ZÜNDORF	13,7	28,4	-	-	8,7	63,5	2	14,6	3	21,9	-	-	-	-	-	-
3	THEILENBRUCH	14,4	27,4	1	6,9	6,5	45,1	4,3	29,8	2,6	18	-	-	-	-	-	-
12	MERKENICH	12,2	26,2	5,5	45	2,5	20,5	2,5	20,5	1,7	13,9	-	-	-	-	-	-
4	SCHLEBUSCH	13,6	25,3	1	7,3	4,8	35,3	5,9	43,4	1,9	13,9	-	-	-	-	-	-
2	FRECHEN	12,3	23,7	-	-	5	40,65	4,3	34,9	3	24,39	-	-	-	-	-	-
16	RODENKIRCHEN	7	23,1	1	14,2	1	14,28	5	71,4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	OSSENDORF	6,8	19,6	1,9	27,9	-	-	1,4	20,6	3,5	51,4	-	-	-	-	-	-
12	ZOLLSTOCK	4,5	18,4	1	22,2	-	-	0,5	11,1	3	66,6	-	-	-	-	-	-
3/4	BOCKLEMUND	7,5	18,2	-	-	-	-	3,6	48	3,9	52	-	-	-	-	-	-
1	JUNKERSDORF	5,6	17,5	-	-	-	-	5,1	91,07	0,5	8,9	-	-	-	-	-	-
11	KLETTENBERG	3,8	17,2	1	26,3	-	-	2,8	73,7	-	-	-	-	-	-	-	-
6	MARIENBURG	5,5	17,0	1	18	-	-	1,5	27,2	3	54,5	-	-	-	-	-	-
7	SÜLZ	4,1	13,4	-	-	-	-	0,9	21,9	3,2	78	-	-	-	-	-	-

Tableau 1 Bis.

- Pour les parcours dont les vitesses sont supérieures à 25 km/h, le pourcentage de site propre intégral et séparé est supérieur à 78 %.
- Pour les parcours dont les vitesses sont inférieures à 25 km/h, le pourcentage de site banalisé augmente, tandis que la vitesse diminue, c'est ainsi que sur la ligne 7 les véhicules venant de SULZ ont une vitesse commerciale de 13,4 km/h sur un parcours ayant 78 % de site banal.

Mais on trouve des exceptions :

- sur la ligne 11 on note une vitesse de 17,2 km/h en venant de KLETTENBERG sans plateforme en site banal, mais avec 73,7 % de site séparé sur lequel les véhicules sont tributaires des feux de carrefour pour lesquels en l'occurrence le tramway n'est pas prioritaire ;
- sur la ligne 1 on note une vitesse de 17,5 km/h en venant de JUNKERSDORF avec seulement 8,9 % de site banal, mais 91 % de site séparé tributaire des feux aux carrefours.

Ces 2 terminus se situant à moins de 15 minutes de trajet du centre, les responsables de la circulation maintiennent la priorité aux feux des carrefours principaux en faveur de la circulation automobile.

Une comparaison avec les chiffres publiés sur les réseaux américains (cf. tableaux (2) et (3)), montre que ces derniers ont dans l'ensemble des vitesses commerciales supérieures à celles des réseaux européens, sauf en ce qui concerne les lignes de tramways conventionnelles circulant sur site banalisé (New Orleans, "Street cars" de Philadelphie, "Muni" de San Francisco). Les plus fortes vitesses annoncées s'expliquent, dans le cas de la ligne de Newark et de la "Norristown Line" de Philadelphie par l'absence de carrefours à niveau ; par contre, dans le cas de la ligne "Shaker Heights" de Cleveland, on obtient une vitesse de 37 km/h en dépit de l'existence de 20 croisements à niveau.

Type d'emprise des voies de LRT et de tramways

Systèmes	Situation de la ligne (Km)							Vitesse moyenne commerciale	
	En souterrain ou tunnel	en surface							
		A niveau séparé	Site protégé	Axe de boulevard	Voie réservée	Site banalisé	TOTAL		
Boston									
Green Line	7.2	17.1	0	15.3	0	4.2	43.8	20.0	
Mattapan-Ashmont	0	4.2	0	0	0	0	4.2	19.3	
Newark City Subway	2.1	4.6	0	0	0	0	6.7	32.2	
Philadelphia									
Streetcars	0	0	0	0	4.2	78.2	82.4	14.5	
Subway-surface	4,0	0	0	1,6	0	30.3	35.9	18.0	
Media-Sharon Hill	0	0	16.2	0	0,3	2.6	19.1	25.8	
Norristown Line	0	21.9	0	0	0	0	21.9	49.9	
Pittsburgh : South Hills	1.1	0	28.2	0.8	0	9.8	39.9	22.0	
Cleveland : Shaker Heights	0	11.3	0	9.8	0	0	21.1	37.0	
New Orleans : St Charles Line	0	0	0	9.0	0.2	1.3	10.5	15.0	
Fort Worth : Tandy Center Subway	0.8	1.1	0	0	0	0	1.9	25.8	
San Francisco Muni	5.2	0	1.6	4.2	0	18.3	29.3	15.3	
Tous systèmes	20.4	60.2	46.0	40.7	4.7	144.6	316,7	21.9	

Tableau 2

Source T.R.B.

Densité des stations et des croisements

Caractéristiques	Boston			Philadelphia				Pittsburgh: South Hills	Cleveland: Shaker Heights	New Orleans: St. Charles Line	Fort Worth: Tandy Center Subway	San Francisco Muni	Tous systèmes
	Green Line	Mattapan	Newark City Subway	Tramway	LRT surface souterrain	Media Sharon Hill	Norristown Line						
Stations ou arrêts :													
- niveau séparé	15	7	10	0	8	1	22	0	9	0	4	2	78
- site réservé	54	1	1	29	11	38	0	80	19	45	0	45	323
- voirie	25	0	0	434	147	11	0	8	0	5	0	136	766
Total.....	94	8	11	463	166	50	22	88	28	50	4	183	1167
Croisements à niveau (dans les sites protégés) avec voies ferrées, ou feux de carrefour avec priorité													
Feux de carrefours sans priorité	1	0	0	0	1	31	0	7	0	0	0	0	0
Signaux d'avertissement	0	0	0	10	3	11	0	0	20	16	0	0	39
Sans protection	0	0	0	14	0	3	0	36	0	1	0	0	0
Total.....	48	1	1	24	4	45	0	43	20	98	0	39	323
Croisements à niveaux différents													
Intervalle moyen (km) entre :													
. stations (sites séparés et réservés), ou arrêts (sur voirie)	26	8	8	0	0	2	36	14	26	1	0	2	145
. croisements à niveaux (sites protégés seulement)	0.47	0.60	0.68	0.18	0.21	0.39	1.05	0.37	0.76	0.21	0.64	0.16	0.27
	0.32	2.09	3.38	0.19	0.53	0.37	0	0.66	0.50	0.10	0	0.14	0.29

Tableau 3

Source T.R.B.

.../

2.2. - L'attractivité et la productivité

Après une baisse plus ou moins rapide de la fréquentation sur les réseaux de transports publics dans les années 1960 et cela en général jusqu'en 1973-76, on constate sur la plupart des réseaux un regain enclenché soit par des améliorations dans le domaine des temps de transport, de la tarification ou du confort, soit par la mise en service d'un métro ou d'un métro léger.

Si l'on examine l'évolution de la fréquentation tous modes de quelques réseaux de transports publics depuis 1973, on note (tableau 4 et figure 1) :

- En SUISSE, sur les réseaux de ZÜRICH et de BERNE, une augmentation sensible de la fréquentation entre 1973 et 1984 : 8 % pour ZÜRICH, 9,9 % pour BERNE ; la baisse de fréquentation constatée à BÂLE à partir de 1978 peut s'expliquer en partie par la nouvelle méthode de calcul du nombre de voyages adoptée à la suite de l'intégration tarifaire.

Cette augmentation de la fréquentation est d'autant plus remarquable que le nombre de voyages/habitant/an est de l'ordre de 400 pour ZÜRICH et BERNE, et 280 pour BÂLE.

- En ALLEMAGNE, sur les réseaux de COLOGNE, HANOVRE, NUREMBERG et STUTTGART, une augmentation de la fréquentation pour la même période respectivement de : 1,4 %, 19,1 %, 6,2 % et 11,6 %.

Le réseau de COLOGNE a connu une augmentation de sa fréquentation avant 1973 avec les premières mises en service de lignes en souterrain dans le centre-ville, et cela jusqu'en 1975, cette fréquentation s'est stabilisée autour de 170 millions de voyages/an.

Le nombre de voyages/habitant/an en 1983 était de 140.

Le réseau de HANOVRE a eu une forte augmentation de sa fréquentation à partir de 1975, date de la mise en service de la première ligne de métro léger traversant le centre-ville (+ 27 % entre 1975 et 1981).

Le nombre de voyages/habitant/an en 1983 était de 119.

Le réseau de NUREMBERG a vu une augmentation nette de sa fréquentation lorsque le métro lourd a atteint le centre-ville et la gare centrale (+ 18,3 % entre 1977 et 1982). Le nombre de voyages/habitant/an était de 184 en 1983.

Le réseau de STUTTGART a connu une augmentation de sa fréquentation avec les premières mises en service de souterrain en centre-ville en liaison avec la gare centrale et le S-Bahn (soit 12,4 % entre 1973 et 1977), puis la fréquentation s'est stabilisée, mais un regain de fréquentation devrait apparaître en 1986 avec la mise en service des lignes 3, 1 et 14 de métro léger. Le nombre de voyages/habitant/an était en 1983 de 168.

- En FRANCE, à titre de comparaison, on a noté sur les réseaux de LILLE, LYON, MARSEILLE et SAINT-ETIENNE, une augmentation sur la période 73-84 respectivement de 35,8 %, 26,9 %, 48,7 % et 2,5 %.

Le réseau de LILLE voit sa fréquentation augmenter de 36 % entre 1982 et 1984 avec la mise en service du métro. Le nombre de voyages/habitant/an d'un niveau très bas : 54 en 1982 passe à 74 en 1984 encore très inférieur à celui des réseaux Allemands et Suisses.

Le réseau de LYON a connu une forte augmentation de sa fréquentation avec la mise en service du métro (Mai 1978) + 56 % entre 1977 et 1984, le nombre de voyages/habitant/an passant de 111 en 1977 à 170 en 1984.

Le réseau de MARSEILLE a connu aussi son "effet métro" avec une augmentation de 38,5 % de la fréquentation entre 1977 et 1984, le nombre de voyages/hab. /an passant de 85 en 1977 à 115 en 1984.

Le réseau de SAINT-ETIENNE a connu une longue baisse de la fréquentation dans les années 1970, et ce jusqu'en 1980. Après un changement de politique commerciale, une amélioration et une extension du réseau (notamment la ligne de tramway), la fréquentation a augmenté de 32 % entre 1980 et 1984, le nombre de voyages/habitant/an passant de 109 à 150.

EVOLUTION DU NOMBRE DE PASSAGERS TRANSPORTES ENTRE 1973 ET 1983

Année Ville	73 en Millions	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
BRUXELLES	175	187,7	196,8	198,5 * 5	204	208,5 17,1	211,9 34,8	212,6 35,3	210,8 39,4	207 43,8	193,8 47	195,4 48,4
HANOVRE	112,48	114,3	109,6	114,2	120,6	123	130,7	137	139,2	136,1	134	123,8
COLOGNE	168,3	169	176,14	169,5	167,28	169,5	168,5	175,8	171,75	177,4	170,7	
STUTTGART	130,3				146,8	127,3	134,2	140,2	145,4	143,1	145,4	
NUREMBERG	120,1 * 6,6	119,7 8,8	117,2 10,8	117,6 11,5	109,6 8,9	117,2 20,9	121,3 24,2	124,8 26	128,5 31,7	129,7 38,1	127,5 38,4	
BALE	118				124,9	97,2	97,9	100,4	99,9	99,7	94,2	
BERNE	73,6			80,2	80,1		77,46					80,9
ZURICH	208,5	209,5	208,6	207,9	208	209	213	217,5	219	225,7	225	225,4
LYON	164		130,6	124,3	132,7	158,9 * 25,4	175,03 42,12	188,3 47,7	203,8 55,3	205,9 60,4	206,8 62,2	207,2 65,3
MARSEILLE	85,9	88,5	90,8	91,5	92,3	116,2 * 20,5	130,1 26,6	131,1 27,8	130 28,7	132 29,8	130,8 29,7	127,8 35,8
LILLE	51,1		50,9			49,5	50,3	50,6	47,1	50,8	58,6 * 8,1	69,4 21,2
S ^t ETIENNE	46,4	44,3	42,8	41,6	40,6	36,2	35,5	36	39,87	46,2	47,5	47,56

- Tableau 4 -

* - Dont le nombre de voyageurs en Métro.

- Source : Recueil U.I.T.P. 1975.

101 Réseaux de Transports Urbains 1975 - 1984.

Statistiques Exploitants.

Etude de la Ligne de Tramway de S^t Etienne par le C.E.T.E. de l'Est. (Sept. 78)

Nüremberg : "Can Rail save the City?" par Peter Hall et Carmen Hass-Klau.

V.O.V. Statistik'83.

EVOLUTION DU NOMBRE DE PASSAGERS TRANSPORTES PAR L'ENSEMBLE DES MODES
DES DIFFERENTS RESEAUX EUROPEENS (NOMBRE DE VOYAGES)

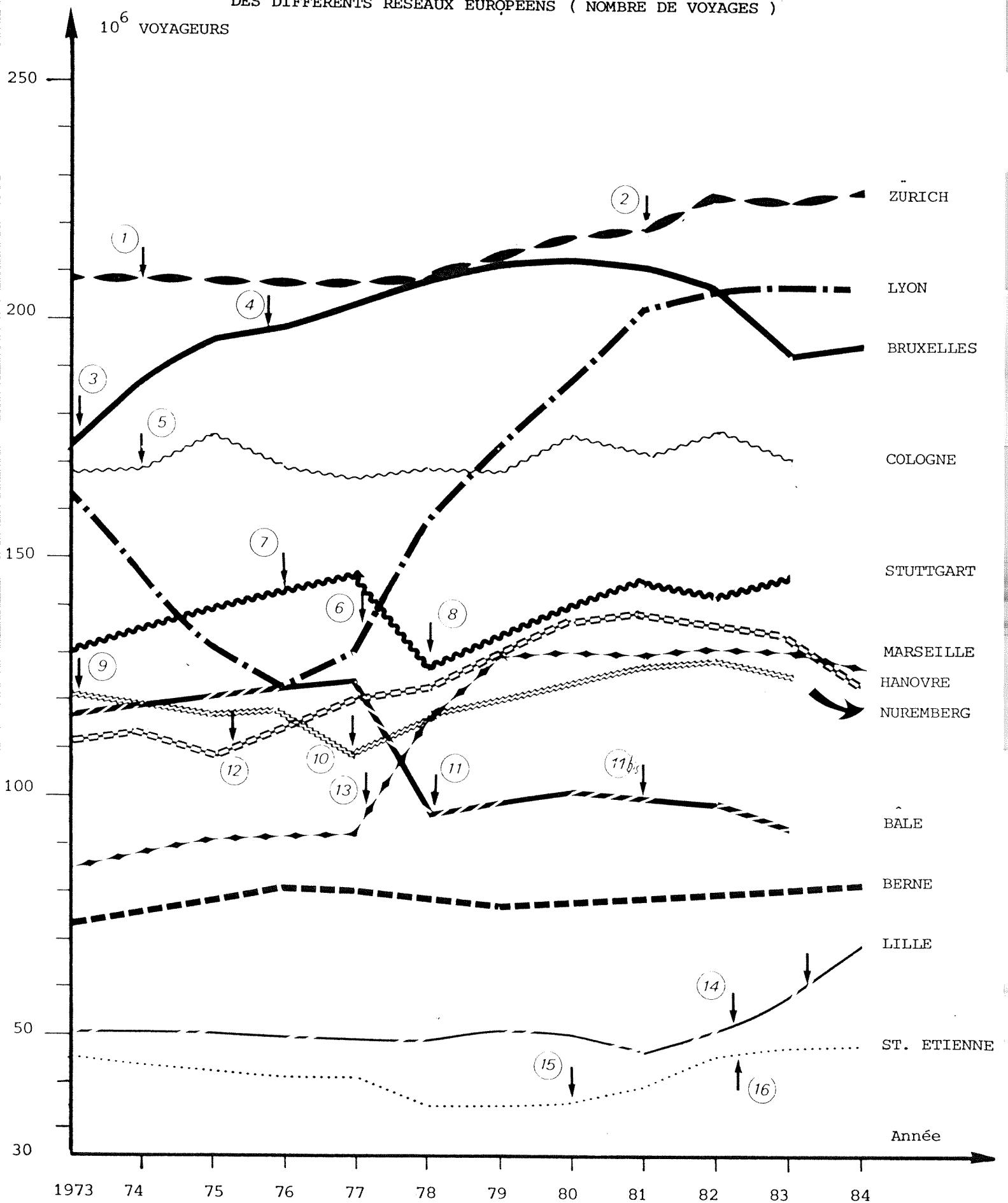


Figure 1.

Figure 1

Légende

Points particuliers des courbes

ZÜRICH

1. 1974 - Mise en service du système de suivi des véhicules par ordinateur.
2. 1981 - Communauté tarifaire avec les transporteurs de l'agglomération sauf les chemins de fer.

BRUXELLES

3. 1973 - Restructuration tarifaire et baisse de l'abonnement MTB.
4. 1976 - Mise en service du métro le 20 Septembre.

COLOGNE

5. 1974 - Après la première mise en service de 1,3 km de souterrain en centre-ville en Octobre 1968, le réseau souterrain atteint 20 km, avec une liaison centre Nord - Ville Nouvelle de CHORWEILER.

LYON

6. 1978 - Mise en service du métro ligne A le 2 Mai
- 1981 - Mise en service du métro ligne B le 9 Septembre
- 1984 - Mise en service du métro ligne C le 8 Décembre

STUTTGART

7. 1976 - Après la mise en service de 5,2 km de souterrain en centre-ville en 1971, 3,5 km en 1972, la liaison avec la gare centrale et le S-Bahn est mise en service.
8. 1978 - Intégration tarifaire entre les chemins de fer (DB) et l'exploitant des TC (SSB).

NÜREMBERG

9. 1972 - Mise en service de 3,5 km de métropolitain le 1er Mars, 2,5 km supplémentaires en Juin 1974.
10. 1977 - En automne, la liaison métro avec 3 stations du centre-ville dont la gare centrale est mise en service : le tramway ne passe plus dans le centre ancien.

BALE

11. 1978 - Intégration tarifaire avec l'exploitant de BALE Campagne et mise en place d'un nouveau système de comptage du nombre d'usagers.
- 11 bis. 1981 - Mise en place d'un système de suivi de l'exploitation par ordinateur.

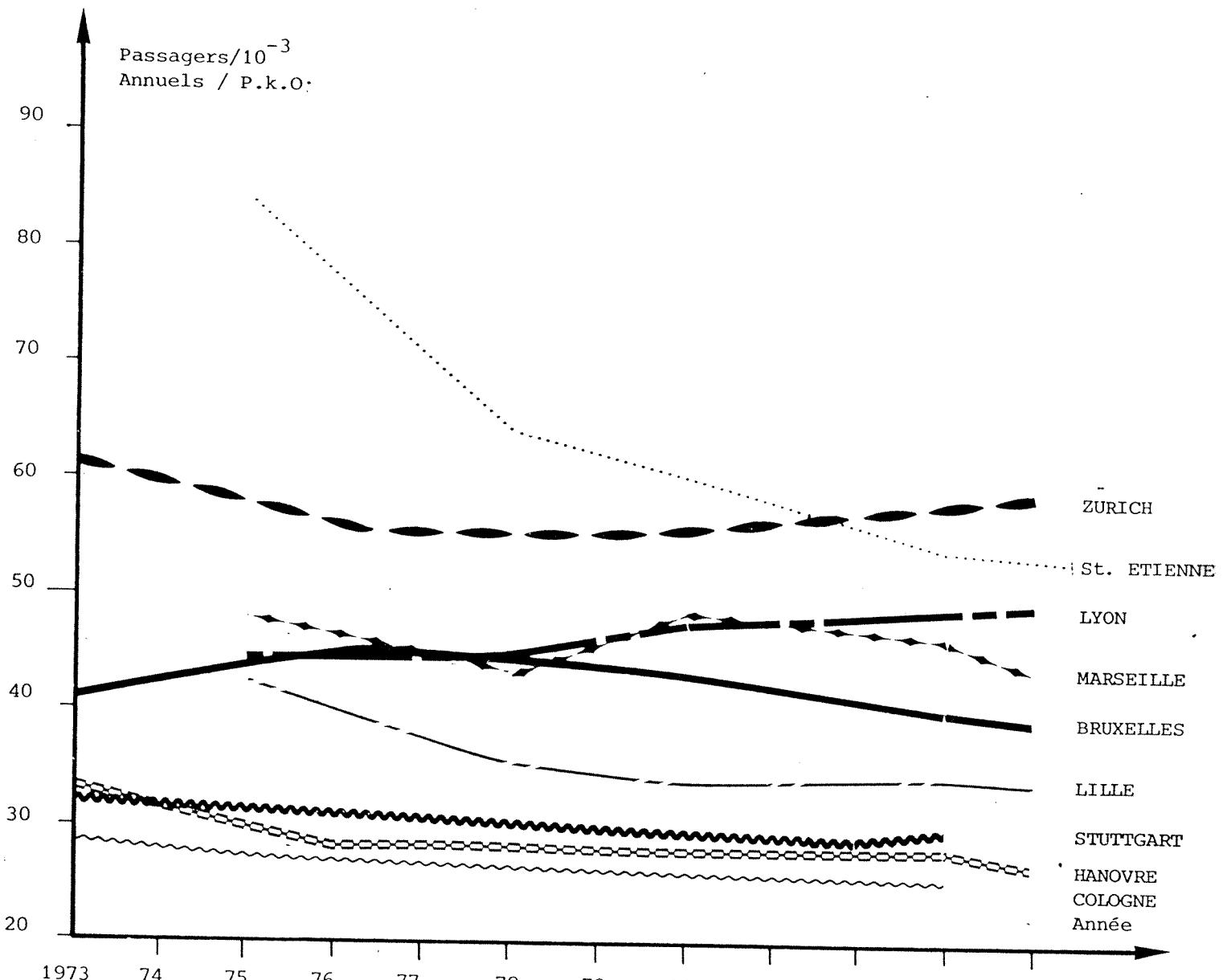
- HANOVRE 12. 1976 - Mise en service en Avril de la première ligne
Nord-Est Sud-Ouest sur 17,5 km.
- MARSEILLE 13. 1978 - Mise en service de la ligne n° 1 le 11 Mars.
1984 - Mise en service partielle de la ligne n° 2 en Mars.
- LILLE 14. 1983 - Mise en service partielle de la ligne n° 1 du métro
le 16 Mai.
1984 - Mise en service totale de la ligne n° 1 le 2 Mai.
- SAINT-ETIENNE 15. 1980 - Nouvel exploitant et nouvelle politique commerciale.
16. 1983 - Prolongement de la ligne de tramway de 1,5 km
en Février.

De l'énoncé de tous ces chiffres, qui sont illustrés sur les courbes figure 1, on pourrait conclure que la création d'une ligne de métro a un effet beaucoup plus sensible sur la fréquentation que toutes les autres améliorations apportées à l'exploitation des réseaux.

Cette observation doit cependant être tempérée par l'examen de l'évolution de la productivité des réseaux représentée par le ratio nombre de passagers transportés/nombre de places.km. offertes, illustré par les tableaux 5 et 6, figure 2.

Le tableau (6) et les courbes montrent que sur la plupart des réseaux, à l'exception de ZÜRICH et LYON, ce ratio a baissé entre 1973 et 1983.

EVOLUTION DU RAPPORT PASSAGERS ANNUELS / PLACES Km OFFERTEES



- Figure 2 -

EVOLUTION DE L'OFFRE VEHICULES / Km OU PLACES / Km OFFERTEES A PARTIR DE 1973 TOUS MODES

ANNEE VILLE	1973 Places-Km. 10^9	1976 P.K.O 10^9	1980 P.K.O. 10^9	1983 P.K.O. 10^9	1984 P.K.O. 10^9	REMARQUES
BRUXELLES	4,1 (1) TW 2,49 (1)	4,4 TW 2,38 M 0,274	4,8 TW 2,07 M 0,893	4,84 TW 1,80 M 1,45	4,94 TW 1,84 M 1,48	(1) 1974
HANOVRE	3,36	4,06	4,59	4,80 TW 3,52	4,55	
COLOGNE	5,8	6,2	6,65	6,8 TW 4,93		
STUTTGART	3,9 TW 2,93		4,90 (2)	4,86 TW 3,22		(2) 1982
NUREMBERG	23,5 (3) TW 13,62			29,2 (3) TW 9,5		(3) Véhicules 10^6
BALE	19,8 (3) TW 16,9 (3)	20,4 (3) (4) TW 16,5 (3)	19,7 (3) TW 15,8 (3)	20,03 (3) TW 15,3 (3)		(4) 1977 (3)
ZURICH	3,46	3,77	3,87	3,9	3,86	
LYON	2,9 (5)	3,6 (6)	4	4,27	4,15	(5) 1975 (6) 1978
MARSEILLE	1,9 (5)	2,7 (6)	2,71	2,83	2,94	
LILLE	1,2 (5)	1,4 (6)	1,51	1,73	2,14	
SAINT ETIENNE	0,51 (5)	0,56 (6)	0,60	0,87	0,89	

- Tableau 5 -

Nota : Pour quelques réseaux on a noté l'offre tous modes dont l'offre Tramway ou Métro lorsqu' elle apparaît distinctement sur les documents statistiques.

Sources : Recueil UITP 1975

101 réseaux de transport urbain 1975-1984

Statistiques exploitants

vov statistik' 83

EVOLUTION DU RAPPORT NOMBRE DE PASSAGERS/NOMBRE DE PLACES Km OFFERTEES

ANNEE VILLE	1973 en 10^{-3}	1976 en 10^{-3}	1980 en 10^{-3}	1983 en 10^{-3}	1984 en 10^{-3}	OBSERVATIONS
BRUXELLES	42,7 (1)	45,1	44,3	40	39,6	(1) 1974
HANOVRE	33,5	28,12	28,5	27,9	27,2	
COLOGNE	29	27,3	26,4	25,1		
STUTTGART	33,4		28,6 (2)	29,9		(2) 1982
NUREMBERG	5,11 (3)			4,36 (3)		(3) Pass/véhi. $10^6 / km \cdot 10^6$
BALE	5,95 (3)	6,12 (3) & (4)	5,09 (3)	4,70 (3)		(4) 1977
ZURICH	60,3	55,1	56,2	57,7	58,4	
LYON	45 (5)	44,1 (6)	47,1	48,4	49,9	(5) 1975
MARSEILLE	47,8 (5)	43 (6)	48,4	46,2	43,5	(6) 1978
LILLE	42,4 (5)	35,4 (6)	33,5	33,9	32,4	
SAINT ETIENNE	83,9 (5)	64,6 (6)	60	54,6	53,4	

- Tableau 6 -



3. LES SITES D'IMPLANTATION



3 - LES SITES D'IMPLANTATION

Les voies du métro léger se répartissent selon 4 types de sites :

- le site propre intégral qui correspond généralement aux réalisations nouvelles en centre-ville en situation dénivélée : tunnel ou viaduc ;
- le site séparé qui correspond aux plateformes indépendantes au milieu ou le long d'un boulevard ou sur une ancienne plateforme de chemin de fer ;
- le site protégé correspondant à des voies réservées, mais non séparées physiquement sur des chaussées empruntées par le trafic général ;
- le site banalisé qui correspond aux voies de l'ancien réseau, posées sur la chaussée utilisée par la circulation générale : ces voies ne sont pas remplacées, soit à cause d'un trafic trop faible, soit à cause de la largeur de chaussée qui ne permet pas de séparer ou protéger (par la signalisation horizontale) les voies du métro léger.

3.1. - Le site propre intégral

Dans de nombreuses villes, la configuration des rues dans le centre ne permet pas d'implanter les voies du métro léger en site séparé de surface, ce qui a conduit à mettre en souterrain la plateforme de métro léger. Le tunnel suit généralement l'alignement du tracé des rues et il a les caractéristiques d'un ouvrage pouvant recevoir un véhicule de métropolitain avec les vitesses commerciales correspondantes (Bruxelles, Stuttgart, Hanovre, Cologne, Zürich) : ce surdimensionnement d'ouvrage pour les véhicules de métro léger permet d'assurer une ventilation naturelle sans obligation d'installer des stations de ventilation qui seraient nécessaires avec des véhicules de métropolitain.

En périphérie, le tunnel peut être remplacé par un viaduc, implanté dans le terre-plein central d'un boulevard par exemple, et passant au-dessus des carrefours, voies de chemin de fer....

Le linéaire des ouvrages souterrains ou en viaduc est limité par le coût d'investissement et les problèmes de construction. L'avantage du site propre intégral est de supprimer les conflits avec la circulation générale, d'améliorer la vitesse commerciale, d'avoir une bonne connaissance des temps de parcours, d'offrir aux usagers une bonne régularité et ponctualité.

Les ouvrages et équipements sont construits selon les normes de métropolitain : intersections dénivélées, grands rayons de courbure, quais élevés et escaliers mécaniques en stations, les équipements de signalisation, les dispositifs de protection des rames et de régulation.

Les conditions pour l'écoulement d'un trafic très important sont réunies, il est alors possible de passer du métro léger au métropolitain.

3.2. - Le site séparé

Il s'agit d'un site de surface implanté soit sur la chaussée, soit sur des emprises récupérées généralement sur le domaine ferroviaire et protégé de la circulation générale par des obstacles physiques tels que terres-pleins, bordures, clôtures, etc....

Avec cette protection, le métro léger échappe aux inconvénients de la circulation générale, sauf au droit des carrefours qu'il passe au niveau de la chaussée ; il est alors protégé par les feux de signalisation et peut obtenir la priorité avec les équipements de régulation.

Dans la plupart des villes qui avaient initialement un réseau de tramways, la mise en site séparé d'une partie des voies a permis d'augmenter la vitesse commerciale et l'attractivité des transports collectifs.

3.3. - Les sites banalisés et protégés

Le site banalisé est le type de site le plus généralement rencontré il y a une vingtaine d'années sur les réseaux de tramways qui, y étant soumis à tous les aléas de la circulation générale, souffraient de performances de plus en plus médiocres. C'est pourquoi dans certaines villes, notamment en Suisse, on a introduit différents modes de protection en utilisant la signalisation horizontale, méthode qui fait appel au sens civique des usagers de l'automobile : ainsi à Zürich, où l'on n'a pas pu mettre en souterrain dans le centre-ville la plateforme de tramway, utilise-t-on la signalisation horizontale avec des bandes continues protégeant une ou deux voies selon les conditions de la circulation automobile et la largeur de la chaussée ; c'est le principe des "voies réservées" utilisé pour d'autres transports collectifs : les autobus et trolleybus.

A un degré moindre de protection, on trouve les lignes discontinues qui rappellent aux automobilistes le gabarit des véhicules de métro léger sur la chaussée, ce qui doit les rendre vigilants, notamment au stationnement.

A Bâle, on distingue 4 sous-groupes dans ce type de site :

- Le sous-groupe A :

Les voies du métro léger se situent dans une zone fermée à la circulation des véhicules particuliers ; il s'agit en général de l'hypercentre réservé entièrement aux piétons.

- Le sous-groupe B :

Les voies du métro léger se situent dans des zones fermées à la circulation, mais ouvertes aux véhicules autorisés, une signalisation horizontale repérant le gabarit des véhicules du métro léger.

- Le sous-groupe C :

Les voies se situent dans une zone fermée à la circulation, l'interdiction de circuler étant règlementée selon certaines heures pour les livraisons.

- Le sous-groupe D :

Ce groupe reprend tous les tronçons de voies en site banalisé non sujets à réglementation et sur lesquels le métro léger circule dans la circulation générale.

Pour une même ligne d'un réseau donné, on trouve les types de sites décrits ci-dessus avec, dans les réseaux les mieux organisés, une hiérarchie partant du site propre intégral dans le centre-ville où l'urbanisation est généralement très dense pour arriver au site séparé en périphérie où l'espace viaire le permet, un certain nombre de tronçons restant cependant en site banalisé.

La disposition et l'emprise des sites séparés sont très variées ; leur faible développement dans les zones denses (centre-ville) montre qu'il est difficile de libérer un espace au profit des seuls transports collectifs.

.../

Les tronçons en site séparé que l'on trouve en centre-ville relèvent souvent d'opportunités telles que la conservation de très anciens sites séparés du début du siècle (Bruxelles), l'utilisation d'infrastructures ferroviaires (Bâle, Cologne), la création d'un quartier nouveau (Zürich, Berne, Utrecht), ou d'un projet routier (Zürich).

Dans d'autres cas, les transports en commun partagent un site séparé avec les piétons (cf. Zürich avec la Bahnhofstrasse, Bâle avec Marktplatz, Berne avec Budenbergplatz.....).

Cette difficulté à effectuer un partage de la voirie au profit des transports en commun incite les Autorités à proposer la mise en souterrain des lignes en centre-ville : c'est le cas à Bruxelles (prémétro), à Stuttgart (métro, puis métro léger), à Hanovre, à Cologne....

Lorsque la ville refuse le choix du souterrain (Zürich, Bâle), on y développe les sites protégés (avec un degré de protection variable) et les systèmes de priorité aux feux avec contrôle par ordinateur de l'exploitation.

.../

Linéaire des réseaux de métro léger

Ville	Nombre de lignes	Type de site								Linéaire d'axe en km	Observations		
		Propre Intégral		Séparé		Protégé		Banalisé					
		en km	en %	en km	en %	en km	en %	en km	en %				
BRUXELLES	18	10,3	7,01	56,5	38,4			80	54,5	146,9	N		
CHARLEROI	7	7	6	54,35	47			54	47	115,35	M		
UTRECHT	1			17,2	96			0,7	4	17,9	N		
HANOVRE	11	13,12	14,35	49,32	54			28,94	31,66	91,38	N		
COLOGNE	15	33,3	22	89,9	59,4			28,1	18,6	151,3	N		
STUTTGART	11	10,3	8,9	73,85	64,3			30,62	26,7	114,7	MN		
ZÜRICH	13	2	2,9	13,5	19,9	9,35	13,8	42,75	63,3	67,6	M		
BERNE	3			2,1	15,3	0,8	5,8	10,8	78,8	13,7	M		
BÂLE	10*			24,4	39,9	11,4	18,6	25,3	41,4	61,1*	M		
NUREMBERG	6			17,9	37,7			29,5	62,2	47,4	N		
BLACKPOOL	1			17,4	94,5			1	5,4	18,4	N		

Nota : Tous les réseaux ont une partie du linéaire en site protégé de la circulation générale par la signalisation ; lorsque ce linéaire n'apparaît pas sur le tableau, n'ayant pu être obtenu, il est inclus dans le linéaire de site banalisé.

N indique un écartement de voie normal à 1.435 mm.

M indique un écartement métrique.

3.4. - Recensement des lignes ayant un grand linéaire en site propre ou séparé :

L'un des objectifs principaux de cette étude étant d'évaluer l'importance des lignes de transport de surface présentant les caractéristiques les plus favorables au développement de l'automatisation et ayant en particulier la plus grande partie de leur linéaire en site propre ou séparé, nous allons essayer de recenser ces lignes.

Nous considérerons qu'une ligne entre dans cette catégorie lorsqu'elle est en site propre ou séparé sur au moins 75% de sa longueur.

3.4.1. - Bruxelles

2 lignes seulement sont intégralement en site séparé :

- la ligne 39 (Square Montgomery - Stockel) vers l'Est, d'une longueur de 5 km ;
- la ligne 44 (Square Montgomery - Tervuren) vers l'Est, d'une longueur de 9,2 km, dont 3 km partagés avec la ligne 39.

La ligne la mieux protégée est ensuite la ligne Nord-Sud 52 (Avenue Meysse-Drogenbos) de 16,2 km, qui possède 64,8% de site propre (3,5 km) et séparé (7 km).

Aucune autre ligne n'a plus de 60% de tels sites.

La tendance pour l'avenir est de développer le réseau de Métro dans le centre et de réduire le nombre de lignes de tramway.

.../

3.4.2. - Charleroi

Le réseau de Charleroi est en complet remaniement depuis une dizaine d'années ; un réseau complet de métro léger devrait être opérationnel en 1995. Ce réseau comprendra une boucle de 4,3 km ceinturant la vieille ville et 8 antennes vers la périphérie.

Désignation des lignes ou antennes	Linéaire en km	Type de site	Mise en service
Fontaine Levêque (Ouest)	9,2	Site séparé et viaduc	1986
Roux et Courcelles (Nord-Ouest)	7,5	"	
Gosselies (Nord)	8,1	Site séparé et tunnel	
Ransart (Nord-Est)	4,6	"	
Gilly (Est)	4,0	Tunnel	1986
Chatelet (Est)	6,8	Site séparé et viaduc	1986 (jusqu'à Centenaire)
Couillet (Sud-Est)	4,3	Tunnel	
Mont sur Marchienne (Sud-Ouest)	3,2	Tunnel	
Boucle Centrale	4,3	Site séparé, viaduc et tunnel	
Total	52 km		

Ce linéaire se répartit en 29 km de site séparé sur 5 lignes
7 km de viaduc
16 km de tunnel

En 1986, un linéaire de 16 km en site séparé et site propre intégral sera en service, auquel s'ajoutent 100 km de l'ancien réseau, dont 54 km en site banal. D'ici l'an 2000, la partie située en site banal de l'ancien réseau aura disparu ; le réseau exploité devrait avoir 100 km, dont 75% sur site séparé et 25% sur site propre intégral.

3.4.3. - Utrecht

Le réseau d'Utrecht n'a qu'une ligne de métro léger vers Nieuwegein avec une antenne vers IJsselstein, soit 17,9 km.

96% du linéaire est en site séparé.

La ligne traverse 42 carrefours à niveau, dont 7 sont protégés par des barrières de type chemin de fer et comporte 20 arrêts. La vitesse commerciale est de 29 km/h.

3.4.4. - Hanovre

Le réseau de Hanovre comporte 11 lignes qui se répartissent sur 4 grands axes A, B, C, D.

Le tableau suivant rappelle les caractéristiques des sites de ces lignes, ainsi que des extensions et aménagements prévus.

Les nombres entre parenthèses représentent les linéaires et pourcentages de types de site futur.

Une récapitulation du tableau met en évidence 5 lignes ayant actuellement de bonnes caractéristiques de protection de plateforme ; en outre, dans quelques années la ligne 5 sera améliorée de façon que la proportion de site séparé passe de 28 à 97%, et une nouvelle ligne traversant le centre-ville en souterrain sera créée sur l'axe D.

Ligne n°	Linéaire en km	Type de site			
		propre et séparé		banal	
		en km	en %	en km	en %
3	14,2	12,2	85,9	2	14,1
7					
8	15	15	100		0
1	25,7	21,24	82,6	4,5	17,5
2					
Actuellement					
5	13,5	3,8	28,1	9,7	71,8
Dans l'avenir					
5	15,9	15,4	96,8	0,5	3,1
Nouvelles lignes (D)		10,1	10,1	100	non précisé

... /

3.4.5. - Cologne

Parmi les 15 lignes urbaines du réseau de métro léger de Cologne, celles qui ont les caractéristiques les meilleures du point de vue de la séparation de leur plateforme par rapport à la circulation générale sont recensées dans le tableau suivant :

Ligne n°	Linéaire km	Type de site							
		Propre intégral		Séparé Chemin de fer		Séparé		Banal	
		en km	en %	en km	en %	en km	en %	en km	en %
1	22	3,5	15,9	10	45,4	8,1	36,8	0,4	1,8
3	19,7			6,5	32,9	7,2	36,5	6	30,4*
4	20,6			4,8	23,3	10,5	50,9	5,3	25,7*
9	27,6	12,8	46,4	4,2	15,2	8,2	29,7	2,4	8,6
11	12,9	4,5	34,8			7,8	60,4	0,6	4,6
13	12,8	6,8	53,1			5	39	1	7,8
15	22,6	5,6	24,7	8,7	38,4	6,8	30	1,5	6,6

* Le linéaire de site banalisé de ces 2 lignes, 3 et 4, devrait être réduit de moitié par suite de mises en souterrain.