

On voit que plusieurs de ces lignes ont une grande partie de leur linéaire sur des emprises ferroviaires, ce qui explique les vitesses élevées qu'elles atteignent.

3.4.6. - Stuttgart

Le réseau de Stuttgart est en pleine évolution avec l'arrivée de nouveaux matériels roulants (DT 8) et la mise à l'écartement normal des voies, et 3 lignes viennent d'être mises en service, les lignes 1, 3, 14.

Le tableau suivant recense les lignes ayant les plus gros pourcentages de site propre ou séparé :

Ligne n°	Linéaire km	Type de site					
		Propre intégral		Séparé		Banal	
		km	%	km	%	km	%
1	18	4	22	14	77,7		
3	8			7,7	96,3		
14	8,28	2,8	34	5,5	66,4		
6	20	P.M.		15,65	78,2	5	25
9	6,2	P.M.		5,3	85,5	0,9	14,5
13	6,6	1,3	19,7	4,7	71,2	0,64	9,6

On note sur le réseau de Stuttgart que 6 lignes sur 10 ont moins de 25% de leur linéaire en site banal, dont 3 lignes n'ont plus de plateforme en site banal.

Les lignes 5, 15, 4 et 2, qui font l'objet de modification de longueur et de terminus sans amélioration globale de leur plateforme (à partir de Juin 1986), ont en périphérie du centre des tronçons en site banal.

Ainsi, la ligne 5 de Stammheim à Möhringen

la ligne 15 de Freiberg à Heumaden

la ligne 2 de Obere Ziegelei à Hölderlinplatz

la ligne 4 d'Obertürkheim à Botnang

ont un linéaire global de 44,1 km (sans tenir compte des tronçons empruntés par d'autres lignes) ; sur ce linéaire, on note 20,7 km de site banal, soit 47%.

.../

D'ici 1990, la ligne 5 qui passa par Neue Weinsteigue sera entièrement en site séparé ou propre ; la ligne 15 empruntera le tunnel de Neue Weinsteigue au Sud et verra sa partie Nord vers Freiberg mise en site séparé.

La ligne 4 sera raccourcie de 2,5 km à l'Est, le terminus étant en correspondance avec le S-Bahn à Untertürkheim. La ligne 2 sera raccourcie en périphérie Nord et Ouest, les tronçons en site banal étant ainsi supprimés (environ 4 km).

Ainsi 10 lignes formeront un réseau de métro léger presque totalement en site séparé et site propre intégral à partir de 1990.

3.4.7. - Zürich

Le réseau de Zürich est très intégré à la voirie urbaine, et aucune ligne n'a un linéaire de site propre ou séparé supérieur à 60% de sa longueur.

3.4.8. - Bâle

Comme celui de Zürich, le réseau de Bâle est un réseau de surface circulant pour l'essentiel sur des sites banalisés.

Il existe cependant une ligne - la ligne 11, reliant Aesch au Sud à Aeschen Platz à la limite du centre, qui pour une longueur de 10,5 km a 9,3 km - soit 88,5% - en site séparé.

3.4.9. - Berne

Ce réseau est entièrement en surface, avec 80% de son linéaire en site banal.

3.4.10. - Nuremberg

Les responsables de la ville de Nuremberg ont choisi de favoriser la création d'un réseau de métro lourd : ce réseau devrait avoir 3 lignes et 42,4 km d'axe à l'horizon 2000. Actuellement, seules la ligne n° 1 et une amorce de la ligne n° 2 sont réalisées. Aucune ligne du réseau de métro léger ne peut être considérée comme majoritairement en site propre ou séparé.

.../

3.4.11. - Blackpool

Ce réseau n'a plus qu'une seule ligne en front de mer de 18,4 km en site séparé sur 17,4 km, soit 94,5% de son linéaire.

Tableau récapitulatif général

Ville	Nombre de lignes du réseau	Nombre de lignes			Observations
		ayant un fort % S.P. + S.S.	Entièrement en S.P. + S.S.	Total	
Bruxelles	18		2	2	
Charleroi	7		8 *	8	* Vers 1995 lorsque le réseau sera achevé.
Utrecht	1	1		1	
Hanovre	11	6 *		6	* 2 lignes supplémentaires en 1990-95.
Cologne	15	7		7	
Stuttgart	11	3 *	3	6	* 2 lignes supplémentaires en 1990
Nuremberg	6	0		0	
Zürich	13	0		0	
Bâle	10	1		1	
Berne	3	0	0	0	
Blackpool	1	1		1	

Il apparaît donc que dans les 11 villes visitées, totalisant 96 lignes, 32 lignes ont ou vont avoir à court terme un pourcentage de linéaire en site propre ou séparé supérieur à 75% de leur longueur.

Ces lignes se trouvent en majeure partie en Allemagne, les villes allemandes faisant un effort particulièrement soutenu pour améliorer progressivement les performances de leurs métros légers.

.../

4. LA VOIE

4 - LA VOIE

Les techniques de construction de la voie ont beaucoup progressé, et il existe une réglementation détaillée et de nombreuses directives notamment en ce qui concerne le respect du gabarit et des distances minimales, le tracé de la voie adapté aux vitesses prévues, la bonne absorption des charges par essieu, le respect des valeurs limites pour les profils en long et les rayons de courbures, le respect des tolérances pour l'écartement des rails, le cheminement et l'usure, la conductibilité et l'isolation électrique....

Lorsque la voie est en site banalisé, la législation concernant la circulation routière et urbaine s'applique au métro léger.

4.1. - Voie unique et voie double

Il est intéressant de noter qu'un certain nombre de métros légers parmi les plus récents, ont été prévus pour une circulation sur voie unique, en ménageant quelques passages à voie double pour permettre les croisements. C'est le cas notamment en Suisse et aux Etats-Unis.

En Suisse, le réseau de Neuchâtel a une ligne à voie unique de 10 km, sans compter les évitements, qui est établie en site séparé (95%). Avec 15 arrêts, la vitesse commerciale moyenne est de 28 km/h.

La fréquence à l'heure de pointe est de l'ordre de 10 minutes ; en service normal et le soir elle est de 20 minutes.

La ville de Lausanne a un projet de ligne entre la gare et Renens qui dessert l'Ecole Polytechnique et l'Université (EPFL) : cette ligne de 8,5 km sur une voie unique comporte 13 stations intermédiaires ayant chacune une voie d'évitement. La distance moyenne entre stations est de 570 mètres et les quais sont prévus à niveau avec le plancher des véhicules, la vitesse maximum est de 60 km/h. Les études ont montré que l'exploitation avec des rames de 2 véhicules, soit 410 passagers avec 1 conducteur et à une vitesse moyenne de 26 km/h, est plus rentable qu'une exploitation avec des trolleybus transportant 100 passagers avec 1 conducteur et à une vitesse moyenne de 15 km/h. Cette ligne pourrait être achevée en 1989.

.../

Aux Etats-Unis, on trouve plusieurs réseaux comportant des lignes à voie unique :

- à la Nouvelle Orléans, 1,5 km à voie unique à 2 sens de marche ;
- à Pittsburg, 12,9 km à voie unique, dont 10,6 km à un sens de marche ;
- à Philadelphie, 21,1 km à voie unique à 2 sens de marche
5,4 km à voie unique à 1 sens de marche sur la ligne
de Media Sharon Hill protégée par un système
de cantonnement à blocks automatiques lumineux.
- La Ville de Sacramento a une ligne à 2 branches Nord-Est et Est en construction qui seront respectivement achevées en Janvier et Juin 1987 : cette ligne aura 60% de son linéaire à voie unique, 40% de sections à voie double étant prévus pour les croisements. Le fréquence prévue est de 15 minutes dans les 2 sens.
- A San Diégo, 22 km à voie unique en site séparé parcourue aussi par des trains de marchandises, cet axe comporte 4 croisements à double voie : la protection des trains est assurée par un système de cantonnement à blocks automatiques lumineux ; la fréquence des trains est de l'ordre de 15 minutes.

L'intérêt de cette configuration est :

- qu'elle permet des économies sur les investissements de génie civil ;
- qu'elle peut permettre plus facilement d'implanter certains tronçons sur des sites séparés.

En contrepartie, elle a l'inconvénient de pénaliser la fréquence de la ligne, et elle s'applique plus particulièrement aux lignes sur lesquelles l'intervalle entre trains ne descend pas au-dessous de quelques minutes.

.../

4.2. - Caractéristiques de la voie

Les techniques de construction des voies peuvent être classées en 3 catégories :

- La voie noyée qui est généralement utilisée en site banalisé permet l'accès des véhicules routiers, le passage des piétons et des cyclistes...
- La voie sur ballast est le type actuellement le plus répandu pour les sites séparés ou site propre intégral ; elle est infranchissable par des véhicules routiers et difficilement franchissable par des cyclistes.
- La voie sur béton est le type de voie le moins répandu ; on le trouve surtout sur des ouvrages tels que viaduc, pont ou tunnel. Le réseau de Cologne, promoteur de ce type de construction, possède plus de 25 km d'axes de ce type de voie appelés à être utilisés chaque fois que la voie passe sur un ouvrage en béton.

L'écartement des voies varie selon les pays, en général on rencontre l'écartement normal de 1.435 mm ou $4' 8\frac{1}{2}''$ l'écartement métrique sur les réseaux européens anciens, en Suisse par exemple, l'écartement étroit 900 mm à Lisbonne, Linz, l'écartement large de 1.524 mm ou 5' en URSS et aux USA.

4.2.1. - La voie noyée

Elle est constituée de rails à gorge (Rail Broca) fixés sur une couche portante en béton : on interpose des éléments intermédiaires élastiques (asphalte, caoutchouc....) entre le rail et la fondation pour obtenir l'amortissement des vibrations et une réduction de l'usure des rails. La couverture de la voie consiste en un remplissage avec du sable et du pavage, ou du béton recouvert d'asphalte ou de dalles.

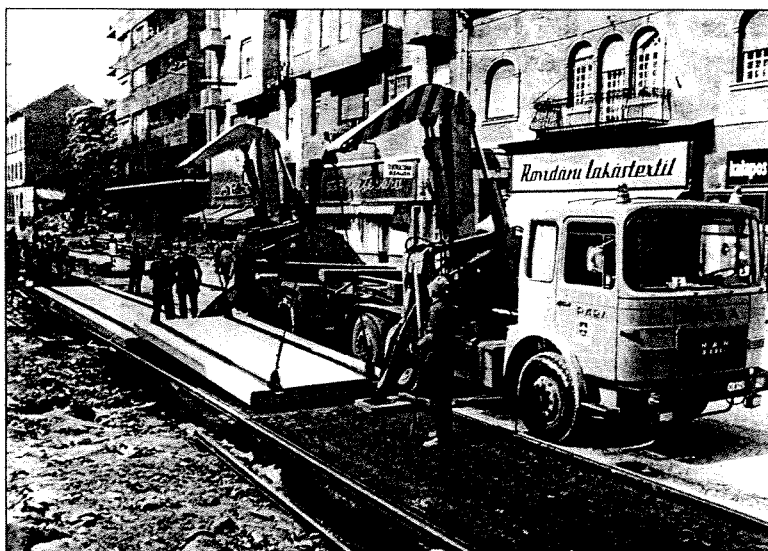
La fondation en béton peut être constituée de dalles de béton, coulées sur place ou préfabriquées ; ces dalles sont disposées sous chaque voie ou sous les 2 voies (en plus grande largeur) ; elles peuvent aussi constituer des longerons isolés sous chaque rail.

.../



(Doc.V.B.Z.)

La Voie Verte à Zürich sur l'extention de Schwamendingen.



(Doc.B.V.M., Hongrie)

Pose de plaques préfabriquées, précontraintes standards, de 2,20m de large de 6, 3 et 1,5m de longueur, dans lesquelles sont prévues les réservations pour les rails: ce procédé permet une pose industrialisée de la voie.

Pose industrialisée de la Voie
Noyée à Budapest.

Une méthode rationnelle de construction de voie a été adoptée à Budapest : on dispose sur du ballast des dalles de béton précontraint d'épaisseur de 20 cm, comportant les réservations pour l'introduction du rail à gorge ; le rail est posé sur une bande de caoutchouc introduite dans la réservation de la dalle et étanché par du bitume.

On trouve des variantes de voies noyées :

a) La voie verte

Ce type de voie est apparu en Suisse, dans des endroits (parcs, quartiers résidentiels.....) où l'on a souhaité éviter une coupure visuelle avec la voie ferrée. A la place du revêtement de chaussée entre les rails à gorge, on a mis en place de l'humus engazonné. Lorsque ces voies doivent être utilisées par des véhicules de sécurité (pompiers.....), on ajoute une structure portante constituée de cubes de béton creux ou claies qui assurent le passage de véhicules. Outre l'aspect visuel, l'avantage du gazon est l'atténuation du niveau de bruit de l'ordre de 5 dB par rapport aux autres types de voies couvertes : le niveau de bruit transmis par la voie verte est sensiblement le même que celui transmis par la voie posée sur traverses et ballast (des essais faits à Bâle ont montré un niveau de bruit de 78 à 81 dB (A) au passage de convois à 40 km/h sur une voie avec rails Vignole posés sur traverses et ballast, de 77 à 79,5 dB (A) pour une voie engazonnée (Réf. 15). Les phénomènes sonores sont nettement influencés par l'état des rails ; ainsi on signale à Göteborg un cas où le niveau sonore a baissé de 6 dB (A) après meulage des rails de la voie.

Les voies engazonnées entraînent des problèmes d'entretien et de corrosion du rail ; cette expérience ne semble pas être poursuivie sur les réseaux Suisses.

.../

b) La voie encastrée

En général, la voie est encastrée sur de petites longueurs au droit des carrefours, de passage piétons : on dispose des dalles de béton préfabriquées entre les rails Vignole afin d'assurer la continuité des rails et la traversée à niveau des véhicules routiers et les piétons ; cette méthode évite d'interrompre les rails Vignole, de poser des rails à gorge (Broca), et de constituer un revêtement de chaussée spécifique.

4.2.2. - La voie sur ballast

C'est le type de voie le plus souvent rencontré en site séparé : les rails Vignole sont posés sur des traverses de bois, elles-mêmes posées sur ballast.

On utilise la technique de pose des chemins de fer classiques elle répond aux exigences concernant la protection contre la propagation des bruits et vibrations.

Les traverses en bois peuvent être remplacées par des traverses en béton ; les rails sont soudés en grande longueur pour éviter l'usure et le bruit.

Dans le cas de la pose sur ballast, les fixations des rails sont indirectes, on maintient le rail sur la traverse par l'intermédiaire d'une selle nervurée qui est fixée à la traverse.

La voie sur ballast est couverte de dalles de béton ou caoutchouc au droit des carrefours et passages pour piétons ou pour une utilisation exceptionnelle sur une section de plateforme par les véhicules de sécurité ; ainsi la continuité du rail Vignole est assurée, les plaques de béton permettant d'affleurer le niveau du rail. Ce type de revêtement a l'inconvénient de ne pas atténuer le bruit transmis par les véhicules comme le ballast, et est difficile d'entretien car, pour régler la voie, on doit démonter les plaques. Ce type de construction reste limité à cause de son coût.

.../

4.2.3. - La voie sans ballast

Les voies noyées sont posées généralement sur une fondation de béton revêtue de pavés ou d'enrobés. On trouve peu de voies découvertes sur béton sauf sur des ouvrages d'art tels que le viaduc de Münchenstein (Bâle) où les rails sont fixés directement sur le tablier du viaduc afin de diminuer les hauteurs et les charges.

A Cologne on a développé la pose "directe" dans laquelle les rails reposent sur des blochets eux-mêmes reliés au radier par des supports élastiques ou "oeufs de Cologne" : l'intérêt de cette méthode est d'utiliser le radier du souterrain et le tablier du viaduc sans ajouter d'éléments supplémentaires, tels que traverses et ballast qui entraînent un surdimensionnement des ouvrages ;

La maintenance de la voie sans ballast est réduite, ainsi les supports élastiques sous les rails ne doivent être changés que tous les 30 ans, alors que l'on doit reprendre la géométrie de la voie sur ballast tous les 2 à 3 ans pendant l'arrêt de l'exploitation, la nuit.

Une des particularités de la voie sur de nombreux réseaux de métro léger est qu'elle peut être utilisée par d'autres véhicules, notamment des trains de marchandises, par exemple sur les réseaux de Cologne, Francfort, Karlsruhe, Budapest....

La compatibilité entre la roue de type tramway qui doit s'adapter au rail à gorge étroite et l'appareil de voie de type chemin de fer aux côtes géométriques différentes a été réglée par :

- soit par un élargissement du bandage de la roue qui est passé de 90 à 125 mm (Cologne),
- soit en conservant l'aiguillage U.I.C., mais en augmentant l'épaisseur de la roue tramway vers l'intérieur pour conserver le guidage par le contre-rail,
- soit en gardant la roue tramway standard, mais en adoptant, là où nécessaire, des appareils de voie à coeur mobile assurant la continuité des surfaces de roulement et de guidage.

Ces appareils de voies ont l'avantage d'être silencieux et confortables pour les véhicules, mais ils sont assez onéreux.

Cette particularité permet aux exploitants de transporter des voyageurs avec le métro léger et des marchandises entre ports et zones industrielles, la nuit par exemple, avec des trains de marchandises : la voie est plus vite rentabilisée et elle doit être équipée des systèmes de protection ferroviaire, notamment aux carrefours à niveau.

4.3. - L'alimentation en énergie électrique

Les installations d'alimentation en énergie électrique de traction doivent s'adapter aux normes du métro léger. Ainsi :

- les sous-stations sont implantées à proximité des lignes pour diminuer les pertes de puissance en ligne et reliées à un poste de contrôle de régulation avec télécommande, ce qui améliore l'exploitation et réduit les défaillances susceptibles de déclencher des pannes ;
- les sections de câbles sont telles qu'elles permettent de limiter les chutes de tension à 10% ;
- la redondance de l'alimentation des tronçons de ligne évite d'interrompre le trafic lorsqu'il y a panne d'une sous-station ;
- la ligne aérienne, de type caténaire, est formée de câbles porteurs ou feeders et de la ligne de contact qui permettent à la fois la transmission de puissance et la vitesse des véhicules ;
- la mise en service de véhicules de métro léger moderne entraîne l'aménagement de la ligne aérienne et des sous-stations pour le retour du courant de récupération au freinage avec une tension qui est de l'ordre de 750 volts continue.

.../

4.4. - L'entretien de la voie

On a vu dans le paragraphe 4.2.3. que la voie sans ballast est facile d'entretien ; seuls les supports élastiques doivent être changés tous les 30 ans, les rails étant rechargés par soudure sur place. Néanmoins, ce type de voie représente un très faible pourcentage de linéaire de voie existant dans le monde.

La voie, constituée de rails Vignole sur traverses et ballast, représente le linéaire le plus important des réseaux de métro léger : un des aspects économiques de ce mode de pose est que l'on utilise les mêmes éléments employés dans les chemins de fer ; aussi peut-on utiliser les mêmes matériels de pose et mécaniser les opérations de pose et d'entretien ; en effet, ce sont les mêmes engins à dresser, à bourrer et à niveler qui sont nécessaires pour construire et entretenir ce type de voie.

Pour prolonger la longévité des rails, on procède à un rechargement par soudure des champignons. Ce procédé permet de réduire l'usure et les rails usés peuvent être rechargés en ligne sans être déposés au préalable.

L'entretien des voies noyées demande encore de gros frais : on utilise de plus en plus des dalles de béton préfabriquées pour l'infrastructure des rails à gorge afin de réaliser une excellente assiette de voie et réduire au minimum ses corrections.

La semelle en asphalte est remplacée de plus en plus par un mortier à la résine époxy (temps de durcissement très court), ce qui permet un mode d'exécution pendant les interruptions de trafic (la nuit) et un réglage facile du niveau de la voie au moment de la pose.

.../

5. CARACTERISTIQUES DU MATERIEL ROULANT

5 - CARACTERISTIQUES DU MATERIEL ROULANT

L'attractivité du métro léger dépend des qualités du matériel roulant ; celui-ci se caractérise essentiellement par :

- une exploitation bi-directionnelle, ce qui évite au terminus de grandes boucles utilisant de grandes surfaces et entraînant des nuisances phoniques pour les riverains ;
- la desserte mixte en site propre intégral et site banalisé nécessite des accès à différents niveaux, ce qui suppose des marche-pieds mobiles ;
- des équipements de sécurité, de commande des appareils de voie, de régulation et de pilotage automatique ;
- le confort avec le chauffage, l'aération, la climatisation, l'isolation, la signalétique, le niveau de bruit, les sièges....

Les métros légers modernes sont des véhicules articulés à 2 ou 3 caisses reposant sur des bogies. Pour des raisons de productivité (personnel de conduite, coût d'entretien....), de capacité aux heures de pointe, la taille des véhicules devient importante - de 20 à 40 mètres de longueur et de 2,40 à 2,65 de largeur - avec possibilité de former des rames en unité multiple .

La productivité dépend aussi de la vitesse commerciale qui est fonction des caractéristiques de traction des véhicules, du site traversé et du temps d'arrêt en station pour le chargement des passagers.

La facilité d'embarquement des passagers, qui est aussi un facteur de confort du transport collectif, dépend :

- de la hauteur de plancher,
- de l'emmarchement d'accès,
- des portes.

.../

La hauteur de plancher varie pour les réseaux visités de 0,825 à 1,00m ; certains véhicules ont une marche pliante pour permettre l'accès d'un quai bas en site banalisé (Hanovre, Charleroi....).

La présence de nombreuses portes et d'emmarchements (surtout pour le véhicule bi-directionnel) diminue la capacité du véhicule, et on doit trouver un compromis entre capacité et vitesse de chargement.

5.1. - Principales caractéristiques de véhicule

a) La motorisation

Les performances dépendent des courbes de fonctionnement des moteurs, du poids des véhicules et du pourcentage d'adhérence, des rapports de pont qui favorisent soit l'accélération, soit les vitesses de pointes.

Les vitesses de pointe des véhicules vont de 55 km/h (Blackpool) à 100 km/h (Cologne) ; les vitesses les plus élevées concernent des véhicules évoluant en site séparé avec de grandes interstations.

Les accélérations en charge normale sont supérieures à 1 m/s^2 et les décélérations vont de 1 à $1,3 \text{ m/s}^2$ en freinage de service, et de 2 à 3 m/s^2 en freinage d'urgence.

Les bogies monomoteurs se généralisent ainsi que les systèmes automatiques de régulation de l'accélération-freinage qui favorisent des performances élevées et régulières.

b) La caisse

Le gain de poids est important pour l'économie de l'exploitation, et les constructeurs de véhicules de métro léger moderne doivent en tenir compte :

- dans la construction des caisses avec l'utilisation du meilleur acier et de l'aluminium,
- dans la construction des bogies avec l'utilisation d'alliages légers de roues allégées et d'essieux creux,
- dans la position des moteurs et leur fixation au châssis du bogie,
- dans l'équipement électrique en disposant judicieusement les appareils afin de réduire les longueurs de câbles,
- dans l'équipement de traction.

c) La commande de traction

L'utilisation des hacheurs de courant avec des moteurs de traction à courant continu ou avec des moteurs asynchrones et convertisseurs ou onduleurs, permet une commande progressive de la traction : des gains de consommation sont obtenus au démarrage et aux vitesses réduites et on peut récupérer de l'énergie avec le freinage à récupération si l'installation électrique du réseau le permet. Cette commande progressive de la traction offre un confort de roulement et une meilleure utilisation de l'adhérence avec les dispositifs anti-patinage et anti-enrayage.

L'utilisation des microprocesseurs dans les équipements de commande de traction des véhicules offre des avantages à l'exploitation et à l'entretien :

- une grande fiabilité grâce à la réduction du nombre des éléments de construction,
- une plus grande précision et des réglages pouvant être reproduits en série,
- une facilité de modification des paramètres de commande,
- une facilité pour la recherche de pannes et le traitement des incidents grâce à la saisie automatique des perturbations et l'enregistrement des informations.

Avec les microprocesseurs, le diagnostic de pannes est plus rapide et leur traitement est simplifié.

d) L'alimentation en air comprimé

L'utilisation de l'air comprimé présente des avantages :

- la qualité du roulement est améliorée grâce aux coussins d'air ; on peut utiliser des graisseurs de boudins de roue pour réduire l'usure roue/rail ;
- on utilise l'air comprimé pour la commande de freins, d'ouvertures et fermetures de portes et pour les pantographes.

.../

En contrepartie, elle a les inconvénients suivants :

- les compresseurs et les équipements d'alimentation alourdissent les véhicules ;
- la nuisance phonique à l'intérieur du véhicule, si l'on ne veille pas à l'insonorisation et à la suspension sur silent block et à l'extérieur aux arrêts en stations souterraines ;
- à basses températures, l'humidité de l'air entraîne des risques de non fonctionnement, d'où la nécessité de poser des sécheurs d'air lourds et encombrants.

e) La maintenance

Le matériel moderne permet d'utiliser des pièces de rechange normalisées, ce qui évite de longues immobilisations du matériel.

L'aide au diagnostic, la rapidité d'échange des éléments et des modules défectueux ont une influence sur les coûts de maintenance, la rotation du parc, et en fait sur la productivité de l'entreprise.

5.2. - Les facteurs de confort du métro léger

5.2.1. Le bruit

a) Le contact roue/rail

L'utilisation des roues élastiques (type Bochum ou SAB) contribue à réduire le bruit de roulement. Des installations de tours en fosse pour le traitement des roues, des trains meuleurs, meuleuse.... le procédé de rechargement par soudure pour supprimer l'usure ondulatoire améliorent nettement le contact des roues du véhicule avec la voie et diminuent d'autant les nuisances phoniques que l'on a pu connaître avec les tramways mal entretenus - d'après guerre -

b) La réduction du bruit des équipements

Les constructeurs, à la demande des exploitants (cahier des charges) s'efforcent de réduire les sources de bruit telles que ventilateurs, compresseurs, par l'interposition de silent blocks ou amortisseurs phoniques.

c) Les vibrations

La nature de la constitution de la voie ainsi que l'état d'entretien du plan de roulement et des bandages jouent un rôle prédominant : c'est ainsi qu'à Cologne on adopte les supports élastiques (oeufs de Cologne) qui amortissent les vibrations de la voie ; à Amsterdam on coule du bitume le long des rails des voies noyées pour réduire la propagation des vibrations.

Une enquête effectuée en R.F.A., concernant le niveau de bruit émis par les véhicules de métro léger mis en service depuis 1970, montre que ces niveaux se situent entre 76,5 et 88,5 dB (A) à 7,50 m de la voie pour des véhicules circulant à 60 km/h, entre 70 et 84 dB (A) à 40 km/h.

On a constaté que le niveau sonore émis sur la voie sans ballast est en général supérieur de 5 dB (A) à celui de la voie sur ballast, le niveau de bruit est influencé par l'état des rails.

Ainsi, sur un tronçon de voie du réseau de Zürich, on a mesuré, après une période de 2 ans, un accroissement de 2 à 3 dB (A) du niveau sonore émis par la voie au passage d'un véhicule.

5.2.2. - Le confort

Les transports collectifs sont en concurrence depuis une trentaine d'années avec l'automobile dans les pays industrialisés : aussi, les exploitants de réseaux de métro léger doivent offrir un certain confort aux usagers des transports en commun.

Ce confort est ressenti au niveau :

- des accès : emmarchements et portes, mains courantes et poignées,
- des sièges : leur nombre, leur forme et leur souplesse,
- du chauffage, la ventilation, la climatisation,
- de la signalétique, la sonorisation et l'éclairage,
- du désign des couleurs, de la propreté.

.../

- L'emmarchement ne doit pas excéder 280mm au-dessus du rail pour la première marche, ni 250mm pour les autres marches
- Les portes doubles, d'une largeur utile de 1,250m, sont attrayantes.

5.3. - Synthèse de quelques caractéristiques sur 11 réseaux de métro léger

Nous avons rassemblé dans un tableau quelques caractéristiques de matériel roulant utilisé actuellement en Suisse, en Allemagne, en Belgique, en Hollande, et tout récemment en Angleterre.

Tout d'abord sont données les caractéristiques de motorisation avec le nombre d'essieux moteurs et l'année de mise en service sur le réseau : on voit ainsi qu'à Zürich, la motrice de la série 2000 a 3 bogies dont 2 bogies moteurs, à Bruxelles la motrice 7900 est à adhérence totale, tous les bogies sont motorisés Be 8/8, à Stuttgart la motrice DT8 a 4 bogies tous motorisés, etc.....

On donne ensuite le nom du constructeur ; on remarque pour chacun des réseaux que la préférence est donnée au constructeur national, exception à Bâle où Duewag s'est implanté, et à Utrecht où S.I.G. a été retenu à défaut de constructeur national.

Les véhicules sont unidirectionnels ou bidirectionnels ; la tendance sur les réseaux modernisés est au véhicule bidirectionnel, ce qui implique le doublement des portes, cabines, et la mise en place de terminus à tiroir, avec une baisse de la capacité unitaire de chaque véhicule.

Les réseaux Suisses, bien que modernes, gardent leur terminus à boucle, leur voie métrique et leur véhicule unidirectionnel : on doit toujours amortir le matériel.

La tendance va vers des véhicules de grande capacité, donc de taille importante avec des largeurs pouvant aller jusqu'à 2,65 m, articulés et accouplables, ce qui donne des capacités pour un seul véhicule à raison de 7 passagers au m² debout, de 268 passagers pour la motrice modèle B de Cologne, 325 passagers pour la motrice DT8 de Stuttgart, et 284 passagers pour la motrice S.I.G. d'Utrecht.

.../

Tous les véhicules sont accouplables sauf quelques anciennes motrices par exemple la motrice 7000 de Bruxelles (sortie en 1952 avec une capacité de 100 passagers), la motrice 9000 de Charleroi, et exceptionnellement un véhicule moderne : la motrice de la série Centenary de Blackpool. Le trafic de cette ligne ne rend pas l'accouplement nécessaire.

Les tensions d'alimentation varient selon les réseaux de 550 à 750 volts, la tendance actuelle étant l'alimentation sous 750 volts continue par exemple à Cologne, Stuttgart et Utrecht, mais la nécessité d'utiliser les anciens véhicules freine les modifications à apporter aux installations électriques pour relever les tensions de 550, 600 volts à 750 volts et plus.

Enfin, les véhicules récents sont équipés de hacheurs : à Hanovre, à Zürich, à Cologne, à Nuremberg, à Stuttgart, à Charleroi et Blackpool ; par contre, tous ne permettent pas de récupérer l'énergie car il faut modifier les installations électriques et continuer l'exploitation mixte avec l'ancien matériel roulant.

En ce qui concerne la motorisation des véhicules, la tendance va vers une forte motorisation surtout pour une exploitation en métro léger.

Ainsi, pour les motrices sorties dans les années 1960, la puissance massique à vide se situe entre 10 et 12 Kw/tonne, tandis que pour les motrices qui sortent dans les années 1980 la puissance massique à vide se situe entre 12 et 14 Kw/tonne.

En effet, la recherche d'une plus grande capacité et de meilleures performances de vitesse et d'accélération, la possibilité de rouler avec une partie des équipements de traction défaillants amènent les constructeurs à augmenter la puissance des moteurs des véhicules : ainsi le tramway français standard est équipé de 2 moteurs de 276 Kw pour un poids à vide de 35,5 T, soit 15,5 Kw/tonne.

.../

Villes	Type et lère mise en service	Constructeur	Bi ou Uni directionnel sur voie M ou N	Nombre de caisses articu- lées ou non Poids à Vide (T)	Longueur en m	Largeur en m	Hauteur de plancher en m	Capacité à 7 pas/m2	Accouplable	Hacheur	Récupération d'énergie	Tension d'alimen- tation	Nbr x Puissance unitaire. Moteur en Kw
BÂLE	Motrice Be 4/6 1967	DÜWAG	U - M	Art, 2 caisses 23,2	20,04	2,20	0,890	170	1 remorque ou en double traction	non	non	600 V	2 x 150
	Motrice Be 4/4 1967	SCHINDLER	U - M	1 caisse 19,02	13,74	2,20	0,915	108	1 remorque	non	non	600 V	4 x 66
	Remorque B4 1961	F.F.A.		1 caisse 10,2	13,7	2,20		121					
BERNE	Motrice Be 8/8 1973	S.W.S.	U - M	Art, 3 caisses 34	26,20	2,20	0,930	220	1 remorque	non	non	600 V	4 x 90
	Motrice Be 4/4 1960	S.W.S.	U - M	1 caisse 20	13,7	2,20	0,91	105	1 remorque	non	non	600 V	4 x 65
ZÜRICH	Motrice Be 4/6 Série 2000 1976	S.W.S.	U - M	Art, 2 caisses 26,5	21,40	2,20	0,830	174	1 remorque ou en double traction	oui	non	600 V	2 x 138
	Motrice Be 4/6 Série 1200 Mirage 1966	SIG/SWS	U - M	2 Art, 3 cais- ses 25,8	20,90	2,18	0,910	191	Remorque motorisée	non	non	600 V	4 x 75
COLOGNE	Motrice modèle B Be 4/6 1976	DÜWAG	B - N	Art, 2 caisses 38	28,00	2,65	1,00	268	4 véhicules maximum	oui	ni à - Düsseldorf - Duisburg	750 V	2 x 235
	Motrice Be 4/8 1963	DÜWAG	U - N	2 Art, 3 cais- ses 29	30,80	2,50	0,920	300	double traction	non	non	750 V	2 x 175
HANOVRE	Motrice Be 4/8 Série 6000 1974	DÜWAG et LHB	B - N	2 Art, 3 cais- ses 38,8	28,28	2,40	0,943	228	4 véhicules maximum	oui	oui	600 V	2 x 217
	Motrice Be 4/6 1961	DÜWAY - LHB	B - N	Art, 2 caisses 28,5	20,06	2,50	0,930	212	double traction	non	non	600 V	2 x 150

CARACTERISTIQUES DU MATERIEL ROULANT

Villes	Type et lère mise en service	Constructeur	Bi ou Uni directionnel sur voie M ou N	Nombre de caisses articu- lées ou non Poids à Vide(T)	Longueur en m	Largeur en m	Hauteur de plancher en m	Capacité à 7 pas/m2	Accouplable	Hacheur	Récupération d'énergie	Tension d'alimen- tation	Nbr x Puissance unitaire. Moteur en Kw
NUREMBERG	Motrice Be 4/6 type N6 1976	DÜWAG/MAN	B - N	Art, 2 caisses 27,8	20,44	2,30	0,880	150	3 véhicules maximum	oui	oui	600 V	2 x 185
	Motrice Be 2/6 1962	DÜWAG/MAN	U - N	Art, 2 caisses 22	20,10	2,34	0,886	186	1 remorque	oui	oui	600 V	2 x 120
	Motrice Be 4/4 1955	DÜWAG/MAN	U - N	1 caisse 1 remorque 16(cai.), 10(re).	14,10 14,10	2,34	0,919	129,268 139,3		oui	oui	600 V	2 x 95
STUTTGART	Motrice Be 8/8 DT8 1983	MAN/SIEMENS	B - N	2 caisses accouplées 62	38,80	2,65	1,00	325	3 véhicules maximum	oui	oui	750 V	4 x 222
	Motrice GT4 1959	ESSLINGEN	U - M	Art, 2 caisses 19,2	19,00	2,20	0,825	165	3 véhicules maximum	non	non	600 V	2 x 100
BRUXELLES	Motrice Be 8/8 7900 1977	BN/ACEC	B - N	2 Art, 3 cais- ses 38,6	27,86	2,20	0,869	179	accouplement automatique	non	non	600 V	8 x 52
	Motrice Be 6/6 7800 1973	BN/ACEC	B - N	1 Art, 2 cais- ses 28,5	21,16	2,20	0,864	148	accouplement automatique	non	non	600 V	6 x 51,5
	Motrice Be 6/6 7500 1972	BN/ACEC	<div> <div>B - N</div> <div>U - N</div> <div>}</div> </div>	1 Art, 2 cais- ses 28,5	21,16	2,20	0,864	158	accouplement automatique	non	non	600 V	6 x 51,5
	Motrice Be 4/4 7000 1952	BN/ACEC	U - N	1 caisse 15,2	14,13	2,20	0,850	100	non	non	non	600 V	4 x 40,5

CARACTERISTIQUES DU MATERIEL ROULANT

Villes	Type et lère mise en service	Constructeur	B1 ou Uni directionnel sur voie M ou N	Nombre de caisses articu- lées ou non Poids à Vide(T)	Longueur en m	Largeur en m	Hauteur de plancher en m	Capacité à 7 pas/m2	Accouplable	Hacheur	Récupération d'énergie	Tension d'alimen- tation	Nbr x Puissance unitaire. Moteur en Kw
CHARLEROI	Motrice Be 4/6 6000 et 6100 1980	BN/ACEC	B - M	1 Art, 2 cais- ses 32,5	22,88	2,50	0,860	208	3 véhicules maximum	oui	oui	600 V	2 x 228
	Motrice Be 4/4 S 9000	SNCV	} B - M } U - M	1 caisse 19,5	14,30	2,32	0,800	133	non	non	non	600 V	4 x 49
UTRECHT	Motrice Be 4/6 1983	SIG	B - N	A Art, 2 cais- ses 37,5	29,80	2,65	0,920	284	4 véhicules maximum	non	non	750 V	2 x 228
BLACKPOOL	Motrice Be 4/4 Série Centenary 1984	E.L. Coach Builders et GEC	B - N	1 caisse 17,3	50' ou 15,24	8' ou 2,43		75	non	oui	non	550 V	4 x 22

CARACTERISTIQUES DU MATERIEL ROULANT

SOURCE

Statistiques des Transports Publics Urbains UITP 1966 - 1967

" " " " " 1974 - 1975

Du tramway au métro léger par P. MALTERRE page 36 et 37

(Extraits N° 350 et 351 de la revue de l'association des amis des "Chemins de Fer")

Light Rail Transit Vol 11 n°5 1975 Lea Transit Compendium

The La Test Light Rail Vehicles in the World oct.1983 par la Japan Tramway Society

Modern Tramway L.R.T.A.

6. LES METHODES D'EXPLOITATION ET DE REGULATION DE TRAFIC.

6 - LES METHODES D'EXPLOITATION ET DE REGULATION DE TRAFIC

La fluidité du trafic est aussi importante pour le métro léger que pour les autres modes de transport : les véhicules du métro léger sont perturbés au niveau des croisements avec la circulation générale sur les tronçons en site séparé et banalisé, tandis qu'ils sont pris en charge par un système de régulation contrôlant les espacements des véhicules sur les tronçons en site propre intégral. Les perturbations rencontrées sur les tronçons de surface se traduisent par l'immobilisation des rames devant les signaux d'arrêt ou par la formation de longs convois à l'entrée des tronçons équipés de dispositifs de signalisation.

Ainsi, pour obtenir cette fluidité, on a d'une part amélioré les infrastructures de surface par une mise en site séparé de tronçons entre carrefours ; dans les centres-villes, on a mis des tronçons, initialement en site banalisé, en site propre intégral, soit en souterrain, soit en viaduc ; d'autre part, on a mis en place des systèmes d'aide à l'exploitation.

6.1. - Le système de contrôle par ordinateur de l'exploitation

Ce système devient nécessaire avec l'intégration des services assurés par les autobus, trolleybus et métro léger d'une agglomération, car il peut surveiller l'ensemble de l'exploitation, détecter les incidents, permettre le respect des horaires pour que les correspondances soient assurées en souplesse.

6.1.1. - Suivi de l'exploitation en temps réel

D'une façon générale, le système de contrôle par ordinateur est relié à la signalisation du métro léger pour la sécurité d'intervalle et de manoeuvre : il contrôle les arrêts, surveille, envoie les télécommandes et informe les conducteurs et usagers à partir d'un poste central. Le système permet la régulation à partir de consoles, tableau de contrôle optique et au moyen de la radio.

L'ordinateur localise les véhicules et compare la situation théorique avec la situation réelle en ligne ; cette donnée permet de tenir informé le PCC des incidents, de fournir des éléments pour décider des mesures à prendre, parallèlement d'informer les conducteurs par la transmission d'instructions codées sur l'avance ou le retard des véhicules.

.../

Le système de contrôle par ordinateur permet d'assurer les correspondances, réguler les intervalles entre les véhicules, régler l'ordre d'arrivée des rames au croisement de plusieurs lignes : il est couplé au système de protection des trains et commande des feux de signalisation, aux postes d'aiguillages, aux points de convergence de plusieurs lignes....

6.1.2. - Suivi de l'exploitation en temps différé

L'analyse des informations recueillies tout au long de l'exploitation permet d'établir les comptes rendus d'incidents, d'établir des statistiques relatives à l'exploitation (durée des temps de marche et des arrêts, enregistrements relatifs aux conducteurs et aux véhicules) et au trafic (nombre d'usagers, taux d'occupation des véhicules....).

6.2. - La gestion des feux de carrefours

On obtient une amélioration sensible de l'exploitation du métro léger lorsqu'une grande partie du réseau se trouve en site séparé et si les temps morts sont supprimés au droit des carrefours avec la circulation générale : la majeure partie des pertes de temps imputables aux causes extérieures à l'exploitation proviennent de la signalisation ; elles peuvent représenter 10 à 20% du temps de rotation. De nombreuses villes ont mis en place dans les années 1970, des plans de circulation et ont accepté de donner la priorité aux véhicules de transport collectif : les carrefours sont équipés de systèmes de priorité aux feux, gérés ou non par ordinateur, la détection d'arrivée d'un véhicule se faisant à l'aide de contacts dans la caténaire ou par boucles noyées dans la voie.

Certains réseaux comme ceux de Bâle, Stuttgart, Utrecht et Cologne ont protégé quelques carrefours avec la circulation générale au moyen de barrières de type chemin de fer : ce type de protection reste exceptionnel et est réservé, soit à des lignes utilisées par des trains de marchandises, soit à des tronçons de banlieue où les véhicules de métro léger peuvent atteindre des vitesses élevées sur de longues interstations.

.../

Le tableau ci-après récapitule les principaux dispositifs de régulation et d'aide à l'exploitation mis en place sur les réseaux de métro léger visités.

Le système de contrôle de l'exploitation par ordinateur a fait ses preuves sur les réseaux qui l'utilisent comme ceux de Zürich et Hanovre ; d'autres réseaux l'ont mis en place comme ceux de Bâle, Cologne et Stuttgart ; d'autres prévoient d'étendre le système à l'ensemble des modes comme le réseau de Bruxelles.

.../

DISPOSITIFS DE REGULATION DU TRAFIC

Fonctions et dispositifs de régulation	Signalisation d'espacement	Commande signalisation de carrefours	Commande d'aiguilles	Protection de carrefours avec barrières	Suivi et identification	Commandes centralisées	Régulation : mode de réalisation
Ville							
BRUXELLES	Surveillance par cantonnement en souterrain (C.A.V.)	Priorité à certains carrefours	Commande embarquée	non	TCO pour la partie Prémétro PCC prévu pour l'ensemble du réseau	Liaison radio	Pas de dispositif
CHARLEROI	Cantonnement prévu en souterrain	Prévue avec la mise en service du métro léger	Commande embarquée	non	PCC prévu ultérieurement	Liaison radio prévue	Pas de dispositif
UTRECHT	Surveillance par cantonnement dans les courbes et à proximité du dépôt	Commande à partir du système Vetag	Commande embarquée Vetag	Hors agglomération	TCO pour entrée et sortie du dépôt PCC prévu	Radiotéléphonie prévue	Pas de dispositif
HANOVRE	Cantonnement en souterrain	Onde verte sur les tronçons en site séparé	Commande embarquée	non	PCC avec ordinateur T.C.O.	Liaison radio	Terminal de bord avec affichage du retard ou de l'avance
COLOGNE	Cantonnement en souterrain et viaduc	Priorité non généralisée surtout en centre-ville	Commande embarquée	Sur des lignes utilisées par des trains de marchandises	PCC avec ordinateur T.C.O.	Liaison radio	Terminal de bord

DISPOSITIFS DE REGULATION DU TRAFIC

Fonctions et dispositifs de régulation	Signalisation d'espacement	Commande signalisation de carrefours	Commande d'aiguilles	Protection de carrefours avec barrières	Suivi et identification	Commandes centralisées	Régulation : mode de réalisation
Ville							
STUTTGART	Cantonnement en souterrain	Ponctuellement mais sur les lignes de métro léger	Commande par détection de la caténaire	Sur une ancienne ligne de chemin de fer	PC avec TCO pour la partie souterraine PCC avec ordi-nateur pour li-gne de métro léger prévu	Liaison radio	Terminal de bord prévu avec un nou-veau PCC pour le métro léger
ZÜRICH	Cantonnement dans le sou-terrain de Schwamendingen	Priorité à certains carre-fours et onde verte	Commande embarquée	non	PCC avec ordina-teur suivi sur consoles	Liaison radio	Terminal de bord avec affichage du retard ou de l'avance
BERNE	Marche à vue	Priorité aux transports en commun	Commande embarquée	non	PCC prévu	Liaison radio	Terminal de bord prévu
BÂLE	Marche à vue	Priorité modu-lée suivant le carrefour	Commande embarquée	2 barrières	PCC avec ordi-nateur suivi sur écrans	Liaison radio	Terminal de bord avec affichage du retard ou de l'avance

C.A.V. = Contrôle Automatique de Vitesse

7. LA SECURITE DANS L'EXPLOITATION DU METRO LEGER

7 - LA SECURITE DANS L'EXPLOITATION DU METRO LEGER ; EFFET DES AMENAGEMENTS
DE SITES

Ce sujet est relativement difficile à traiter, car très peu de statistiques sont publiées sur les accidents rencontrés dans les transports terrestres, et les réseaux visités ont été généralement discrets lorsque cette question a été abordée.

On peut d'abord rappeler les résultats d'une première étude menée par le CRESTA en 1984 sur les accidents du Mongy entre Lille-Roubaix-Tourcoing, qui montrent que les 76 accidents enregistrés en 1983 se répartissaient ainsi :

Type de site		Caractéristiques du site		Nombre d'accidents	
		linéaire km	Nombre de carrefours	en ligne	en carrefour
	Site propre ou séparé	17,6	37	6	32
	Site banalisé ou non protégé matériellement	3,5	20	25	13

Ce tableau fait apparaître :

- d'une part un nombre élevé d'accidents aux carrefours, qui sont les points faibles d'un métro léger, que ce soit en site séparé ou en site banalisé ;
- d'autre part un effet favorable de la présence de sites séparés sur les accidents en ligne.

7.1. - L'importance du nombre de collisions rencontrées sur les réseaux de tramway est illustrée par les statistiques suivantes publiées par les exploitants de BÂLE (BVB) et de ZÜRICH (VBZ).

.../

7.1.1. - Statistiques BVB

Nombre de collisions avec des véhicules et des piétons :

	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Tram	533	497	559	551	615	569
Bus	128	130	110	107	96	107

Nombre de collisions pour 1 million de véhicules.km :

	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Tram	32,7	31,7	35,3	35,8	39,8	37,2
Bus	33,0	34,0	37,4	35,1	30,3	31,5

Nombre de collisions pour 1 million de personnes transportées :

	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Tram	6,1	6,3	6,9	7,1	7,9	7,9
Bus	6,2	6,8	5,6	6,9	6,1	4,8

La tendance depuis 1978 est à une augmentation du nombre de collisions en raison probablement de l'augmentation du trafic.

7.1.2. - Statistiques de ZÜRICH (VBZ)

Le tableau suivant rassemble les statistiques d'accidents ou d'incidents pour les années 1982 et 1983 :

I - Rapport détaillé sur :	Tramway		Trolleybus		Autobus	
	1983	1982	1983	1982	1983	1982
Accidents avec blessures corporelles.....	358	417	108	126	172	158
Collisions avec un autre véhicule.....	881	953	197	193	199	205
Autres dommages.....	323	310	308	342	258	260
Incidents d'exploitation.....	263	301	45	56	53	53
Voies de fait de passagers sur des contrôleurs.....	41	-	8	-	10	-
	1866	1981	666	717	692	676
II - Blessés :						
Passagers	240	291	106	150	170	162
Tiers.....	109	137	10	9	13	8
Personnel en service	60	21	14	2	14	10
III - Accidents mortels.....	3	5	-	-	-	2
IV - Collisions avec :						
Automobile	827	853	178	164	168	174
Moto	8	8	1	1	6	2
Bicyclette	22	23	7	5	10	5
Autre véhicule	24	69	11	23	15	24

On note que sur ce réseau de 238 km de lignes (tous modes), il y a 3.224 incidents, soit un nombre de

14,3 incidents pour 1 million de passagers transportés.

Parmi ces incidents, il y a eu 638 accidents avec blessures corporelles, soit 2,8 accidents pour 1 million de passagers transportés.

7.2. - Effet de l'aménagement des sites sur les collisions :

Une étude globale portant sur un ensemble de 26 réseaux allemands sur la période 1970-1980 semble confirmer qu'un aménagement de sites est favorable à la sécurité.

Volume d'accidents - Comparaison 1970/1980

Accidents	Réseaux ayant réalisé des mises en site séparé		Réseaux n'ayant pas réalisé d'aménagements	
	20		6	
En diminution	14	70%	1	16,6%
En accroissement	5	25%	4	66,6%
Stable	1	5%	1	16,6%

Les résultats de cette enquête montrent que malgré l'augmentation de la circulation, 70% des réseaux ayant réalisé des aménagements voient le nombre d'accidents diminuer.

Nous allons maintenant passer en revue quelques villes pour lesquelles des éléments statistiques ont pu être recueillis.

7.3. L'exemple de Stuttgart

Pour vérifier l'influence de l'amélioration de la situation des voies, l'exploitant du réseau de Stuttgart, la S.S.B., a choisi 7 tronçons aménagés entre 1975 et 1982, a noté l'état initial avant aménagement et l'état final et le nombre d'accidents survenus en 1975 dans l'état initial, et en 1981 dans l'état aménagé (cf. tableau ci-après).

Pour 3 tronçons dont les voies se trouvaient en site banal en 1975 et en site séparé avec voie sur ballast en 1981, les accidents ont baissé de 1/3 pour chacun des 3 tronçons malgré l'évolution du trafic automobile et de métro léger.

Pour 4 tronçons aménagés, il n'y a pas eu d'évolution du nombre d'accidents, mais si l'on tient compte de l'augmentation du trafic automobile et de métro léger, on peut dire que la fréquence des accidents a diminué.

Globalement, sur les 7 tronçons, à la suite de la mise en site séparé des voies et compte tenu de l'accroissement de la circulation automobile sur la même période et de l'évolution du trafic du métro léger, on peut conclure que ces aménagements sont favorables à la sécurité de l'exploitation du métro léger.

Développement des sites séparés et fréquence des accidents

Tronçons aménagés entre 1975 et 1982 à STUTTGART

Etat du tronçon		Année d'aménagement	Facteur d'évolution entre accidents de 1 ^{re} année 1975 et 1 ^{re} année 1981	Evolution de la circulation des V.P. entre 1968 et 1981			Evolution de la circulation des tramways		
n°	Antérieur			Période	Heures J.O.	Facteur	Période	Heures J.O.	Facteur
1	En voirie, voie unique dans rues parallèles		0,66 (diminution d' 1/3)	78-80	6 - 22H	1,15	75-81	6 - 22H	1,05
2	En voirie	1978	0,66	78-81	6 - 22H	1,18	75-81	"	1,13
3	Lignes de protection	1980	0,66	68-80	6 - 22H	1,4	75-81	"	1
4	En voirie	1976	1	68-81	6 - 22H	1,52	75-81	"	1,08
5	En voirie	1980	1	68-80	6 - 22H	1,32	75-81	"	1,13
6	En voirie	1978	1	68-81	Trafic entrant Trafic sortant Heure de pointe	1,21 0,73	75-81	"	1
7	En voirie	1979	1	68-81	"	"	75-81	"	1

J.O. : Jours ouvrables

(Source S.S.B. STUTTGART)

Comparaison entre 1^{re} année 1976 et 1^{re} année 1981 à STUTTGART

S.Ba : en site banal g : tourne à gauche
S.Sé : en site séparé d : tourne à droite
p.p : passage piétons

En 1976 : 64% des lignes exploitées sont en site propre et site séparé

En 1981 : 71% des lignes exploitées sont en site propre et site séparé

Un 2ème tableau comparatif, qui donne le détail des accidents enregistrés par type de site en 1976 et en 1981, confirme les observations faites sur le Mongy, à savoir :

- l'importance des accidents aux croisements (45% en 76 - 55% en 1981) ;
- l'influence favorable du site propre ou séparé sur les collisions en ligne avec d'autres véhicules, cette influence semblant beaucoup moins nette sur les accidents de piétons.

7.4. L'exemple de Cologne

L'exploitant du réseau de Cologne (K.V.B.) s'est intéressé aux causes de conflits et d'accidents entre tramways et automobilistes et a pris des mesures dès 1970 telles que des modifications de cycles de feux, des interdictions de tourner à gauche ou des protections par feux de signalisation, des marquages complémentaires, des créations d'îlots pour protéger les arrêts en site banalisé et a formé les conducteurs à la sécurité, et à être vigilants devant les conflits avec la circulation générale. On a constaté ainsi sur le réseau de la K.V.B. une baisse du nombre d'accidents (tous confondus) dans lequel est impliqué le métro léger entre 1972 et 1981 (cf. Verkehr und Technik 1982 Heft 6 page 240).

.../

Année	Accident/ tramway	Evolution par rapport à l'année précédente	Accident/ bus	Accroissement par rapport à l'année précédente
1972	1442		702	
1973	1172	-18,7	679	- 3,3
1974	1033	-11,9	597	-12,1
1975	896	-13,3	635	+ 6,4
1976	884	- 1,3	618	- 2,7
1977	1002	+13,3	548	-11,3
1978	905	- 9,7	637	+16,2
1979	951	+ 5,1	667	+ 4,7
1980	887	- 6,7	691	+ 3,6
1981	770	-13,2	616	-10,9

(Source Verkehr et Technik)

Cette baisse du nombre d'accidents est sans doute en partie liée à l'amélioration du réseau, ou la mise en site séparé d'une partie du réseau de surface.

7.5. - L'exemple de BÂLE

Un tableau concernant la fréquence des accidents pour les années 1983 et 1984 pour chacune des lignes du réseau de métro léger permet de montrer quel est le type de site favorable aux conflits et donc aux accidents : le nombre d'accidents est ramené à un même linéaire de 100.000 km x rame.

Accidents pour l'année 1984

N° ligne	Nombre d'accidents	Linéaire parcouru par an	Taux d'accidents (par 100.000 km x véh)		Longueur d'axe	
			1984	1983	1984	1983
1	84	907.110	9,26	8,82	8,6	
2	44	415.644	10,58	11,53	3,67	8,11
3	59	678.223	8,70	9,14	6,43	
6	78	1.320.584	5,90	5,83	12,52	
7	47	436.128	10,77	7,10	3,95	6,25
11	42	851.874	4,93	5,33	10,49	
14	60	1.309.825	4,58	4,65	13,22	
15	61	717.250	8,50	9,06	6,80	
16	54	568.526	9,49	9,67	5,39	
18	14	429.295	3,26	4,89	4,07	

(Source B.V.B.)

Les lignes qui ont un linéaire important de site séparé sont :

- La ligne 6 qui va de Riehen à Allschwil d'une longueur de 12,5 km avec 4 km d'axe de voies en site séparé (32%).
- La ligne 14 qui va de Kleinhüningen à Pratteln d'une longueur de 13,4 km avec 7,3 km d'axe de voies en site séparé (54,4%).
- La ligne 11 qui va de Aesch à Aeschenplatz d'une longueur de 10,5 km avec 9,3 km d'axe de voies en site séparé (88,5%).
- La ligne 18 qui va de Neuweilerstrasse à Schiffflände d'une longueur de 4,1 km avec 1 km d'axe de voies en site séparé (24,4%).
- La ligne 15 qui va de Bruderholz à Saint-Louis d'une longueur de 6,8 km avec 1,5 km de voies en site séparé (22%).
- La ligne 16 qui va de Bruderholz à Schiffflände d'une longueur de 5,4 km avec 1,5 km d'axe de voies en site séparé (27%).

Les lignes 1, 2, 3, 7, qui n'ont pas de tronçon séparé, ont dans l'ensemble des taux d'accidents plus élevés que les taux d'accidents relevés sur les lignes 6, 11, 14, 15, 16 et 18.

On remarque que les taux d'accidents/10⁵ km obtenus sur les lignes 15 et 16, qui ont respectivement 22 et 27% de leur linéaire en site séparé, sont assez élevés, ceci sans doute dû au relief tourmenté et boisé de ces lignes sur la colline de Bruderholz.

L'augmentation de la part des infrastructures aménagées ne conduit donc pas obligatoirement à une réduction du nombre des accidents.

2ème PARTIE

LES PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES METROS LEGERS

2ème PARTIE

LES PERSPECTIVES D'EVOLUTION DES METROS LEGERS

Le chapitre précédent a montré que les réseaux de métro léger étaient encore vivaces et qu'ils se sont considérablement modernisés au cours de ces 20 dernières années.

Nous allons examiner maintenant plus brièvement les perspectives pour les années qui viennent, et traiter successivement :

- des projets de construction de lignes nouvelles,
- de l'évolution des sites et des voies,
- de l'évolution des matériels roulants.

.../

1. LES LIGNES NOUVELLES

I - LES LIGNES NOUVELLES

Parmi les villes qui effectuent actuellement des travaux de réalisation de métro léger, qui ont des projets définis et décidés par leurs Autorités, ou qui ont des propositions de schémas et des études de faisabilité, on trouve :

- 48 villes ayant actuellement un réseau de tramways ou de métro léger qui poursuivent les travaux d'extension ou qui ont des projets (Réf. 1 et 2) ;
- 40 villes qui n'ont pas de réseau de tramways ou de métro léger et qui réalisent un réseau de métro léger ou ont un projet.

Cette liste n'est pas exhaustive, surtout compte tenu du manque d'informations sur les pays de l'Europe de l'Est, l'U.R.S.S., la Chine.

On peut dire que cette liste représente un minimum, sachant que des projets de métro lourd sont revus à la baisse en adoptant des solutions ou tracés de surface moins onéreuses en travaux de génie civil, c'est-à-dire en optant pour un métro léger, tout au moins en lère phase d'exploitation.

En établissant 2 tableaux listant les villes qui réalisent ou projettent un réseau de métro léger (cf. tableaux I et II ci-après), on note :

.../

VILLES AYANT UN SYSTEME DE METRO LEGER EN CONSTRUCTION,
EN PROJET OU EN COURS DE PROPOSITON

I - Villes ayant déjà un réseau de métro léger

Ville	Population (habitants)	Extension		Proposée (km)
		En cours (km)	En projet (km)	
1. AMSTERDAM (P.B.)	860.000		16	
2. ALEXANDRIE (EG)	2.500.000		15	
3. ANVERS (B)	600.000	8,8	3,3	
4. BELGRADE (Y)	1.500.000	24		
5. BIELEFELD (RFA)	300.000	4		
6. BOCHUM-GELSEN	1.000.000		9,1	33,9
7. BRUXELLES (B)	1.100.000	6,5		
8. BUFFALO (USA)	1.350.000		17	
9. CALCUTTA (IND)	7.300.000	5	5	
10. CALGARY (CAN)	620.000	6		32
11. CHARLEROI (B)	400.000	9	36	
12. COLOGNE (RFA)	1.000.000	3	11,8	
13. COPENHAGUE (DAN)	1.700.000		17	
14. DORTMUND (RFA)	680.000	8,9	45,7	
15. DUISBURG (RFA)	650.000	3,1	37,4	
16. EDMONTON (CA)	500.000	3	22	
17. FRANCFORT (RFA)	1.000.000	9	7	
18. FRIBOURG (RFA)	200.000	en cours		
19. GENEVE (CH)	300.000	1	1	
20. GÊNES (I)	750.000	8	14	
21. HAKODATE (JAP)	250.000		3,3	
22. HANOVRE (RFA)	880.000	7	15	
23. HIROSHIMA (JAP)	1.140.000			12
24. HONG KONG (TUEN-MUN) (H.K)	5.344.000	23	11	

Ville	Population (habitants)	Extension		Proposée (km)
		En cours (km)	En projet (km)	
25. KARLSRUHE (RFA)	317.000		16	
26. KIEL (RFA)	275.000		12,2	24
27. LAUSANNE (CH)	238.000		8,5	
28. KRIVOY ROG (URSS)	650.000	4	13	12
29. LVOV (URSS)	650.000			12
30. MANHEIM (RFA)	333.000		3,2	
31. MANILLE (PHI)	7.500.000		22	113
32. MELBOURNE (AUS)	2.900.000	4		
33. MILAN (I)	1.700.000	4,5		
34. MOSCOU (URSS)	7.800.000		50	
35. NAGASAKI (JAP)	450.000		3,2	
36. NANTES (F)	475.000		3	13,5
37. NEWARK (USA)	2.000.000		6	Ligne vers l'Aéroport
38. PARIS-BOBIGNY (F)	10.000.000	9		
39. PITTSBURG (USA)	1.700.000	17		6
40. POZNAN (POL)	600.000	7,1	9,2	
41. ROME (I)	3.000.000	1 ligne suburbaine		
42. ROTTERDAM (P.B.)	755.000	2	vers Schiedam	vers l'Est
43. SAN DIEGO (USA)	900.000	7,2	20,5	123
44. STUTTGART (RFA)	860.000	6,4	40 km à mettre à l'écartement normal	
45. TURIN (I)	1.100.000	6	43	194
46. VIENNE (AUT)	1.600.000	3	7	
47. VOLGOGRAD (URSS)	1.000.000	5		
48. ZÜRICH (CH)	554.000	5 (1)		
		209,5	543,4	575,4

Tableau I

(1) Mise en service en Février 1986.

.../

II - Villes n'ayant pas actuellement de métro léger

Ville	Population	Système en cours de construction	En projet	Proposition
1. ANKARA (TUR)	2.500.000	6,6	16	
2. BIRMINGHAM (U.K.)	1.000.000		54	
3. BOLOGNE (I)	454.000		14	
4. BURSA (TUR)	350.000		20	
5. COLUMBUS (USA)	570.000			17
6. CURITIBA (BRAZ)	1.200.000			19
7. DAYTON (USA)	200.000			60
8. DALLAS (USA)	1.400.000		111	147
9. DENVER (USA)	1.770.000			125
10. DETROIT (USA)	1.200.000		24,2	
11. FLORENCE (I)	450.000		25	
12. GRENOBLE (F)	400.000	9	5,5	
13. HONOLULU (JAP)	775.000			37
14. HOUSTON (USA)	1.500.000		28	94
15. ICHIHARA (JAP)			6,2	
16. ISTANBUL (TUR)	5.000.000	7	7	
17. KANSAS CITY (USA)	700.000			13
18. KARACHI (PAK)	700.000			8,8
19. JERSEY CITY (USA)	270.000			12
20. KUALA LUMPUR (MAL)	1.037.000	18,6	33,9	
21. LIMA (PE)	3.000.000			45
22. LOS ANGELES (USA)	3.000.000	36	28	176
23. MANCHESTER (UK)			31	66
24. MILWAUKEE (USA)	650.000			23
25. MINNEAPOLIS/St PAUL (USA)	1.800.000			2 lignes

Ville	Population	Système en cours de construction	En projet	Proposition
26. NORFOLK (USA)	650.000			32
27. OKLAHOMA (USA)	376.000		15,4	12,6
28. PORTLAND (USA)	400.000	24		19
	1,25 M (Vancouver)			
29. ROCHESTER (USA)	690.000		17,6	
30. SACRAMENTO (USA)	780.000	29,3		
31. SAINT LOUIS (USA)	1.700.000		29	
32. SALT LAKE CITY (USA)	200.000		30,4	
33. SAN JOSE (USA)	600.000	32	10	
34. SANTA ANA/ORANGE COUNTY (USA)	2.100.000			68
35. SEATTLE (USA)	1.300.000			97
36. SHEFFIELD (UK)	500.000			25
37. SHIBAYAMA (JAP)			2,7	
38. SYDNEY (AUS)	3.300.000		6	
39. TULSA (USA)	350.000			80
40. TUNIS (TU)	1.200.000	32		
		194,5 km	514,9 km	1.176,4 km

Tableau II

I - VILLES AYANT ACTUELLEMENT UN RESEAU DE METRO LEGER :

Si l'on classe les projets d'extension de métro léger par continent, on obtient à partir du tableau I :

Etat d'avancement du projet	EUROPE (en km)	AMERIQUE (en km)	ASIE-AUSTRALIE (en km)	Linéaire par phase (en km)
Extension en cours de construction	144,3	33,2	32	209,5
Projet d'extension	418,4	65,5	59,5	543,4
Proposition d'extension	289,4	161	125	575,4
Totaux	852,1	259,7	216,5	1.328,3

II - VILLES N'AYANT PAS DE RESEAU DE METRO LEGER

A partir du tableau II, on obtient la répartition suivante selon les continents :

Etat d'avancement du projet	EUROPE (en km)	AMERIQUE (en km)	ASIE-AUSTRALIE (en km)	Linéaire par phase (en km)
Travaux de 1ère phase en cours	9	121,3	64,2	194,5
Projet de réalisation	129,5	293,5	91,8	514,8
Proposition - Etude de faisabilité	91	1.076,6	8,8	1.176,4
Totaux	229,5	1.491,4	164,8	1.885,7
Total I et II	1.081,6	1.751,1	381,3	3.214,00

.../