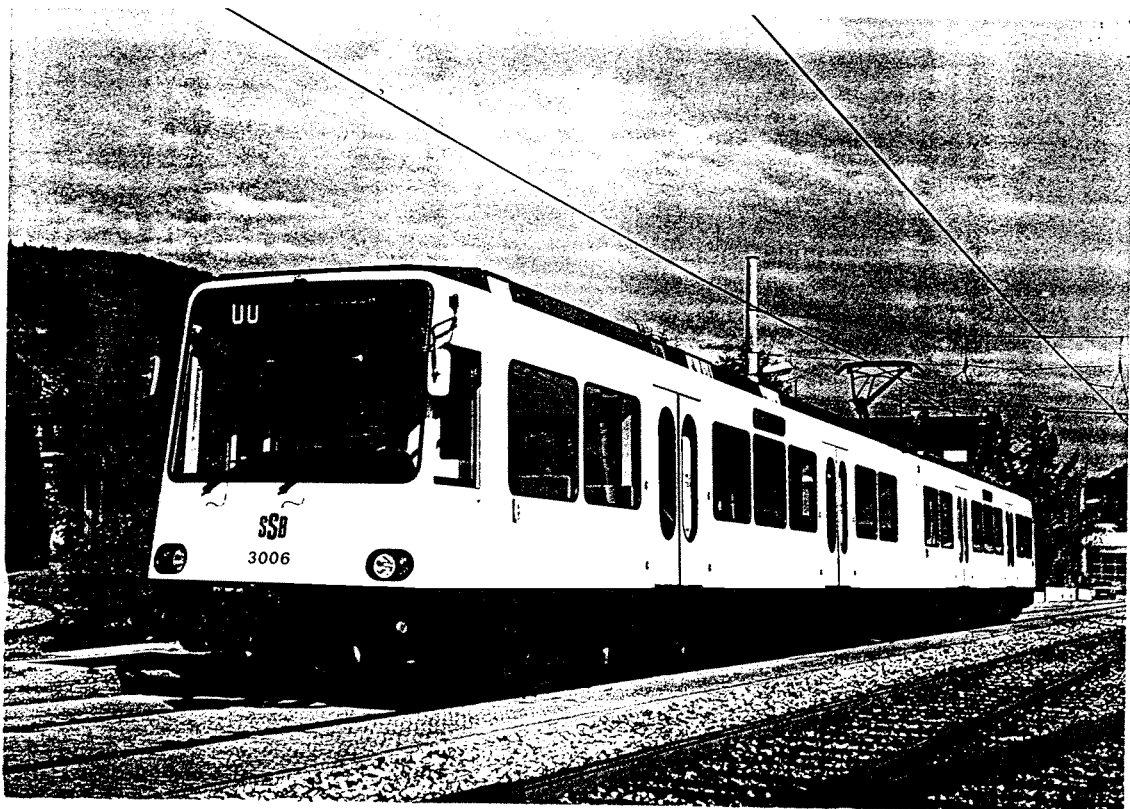


Le Réseau de STUTTGART



I - ENVIRONNEMENT DU PROJET

LE METRO LEGER DE STUTTGART

Trois premiers tronçons en tunnel du réseau de métro léger de STUTTGART étaient inaugurés en 1967 (CHARLOTTENPLATZ-RATHAUS), 1971 (RATHAUS-MARIENPLATZ), Mai 1972 (CHARLOTTENPLATZ-STOCKACH). Un quatrième tronçon (STAATSGALERIE-HAUPTBAHNHOF) était mis en service en Août 1972 : les travaux de la station souterraine HAUPTBAHNHOF comprenant 4 voies, entrepris en 1971, devaient être achevés en 1976 en liaison avec la jonction ferroviaire urbaine de la S-BAHN (Réf. 1).

I - ENVIRONNEMENT DU PROJET

I.1. - La ville de STUTTGART

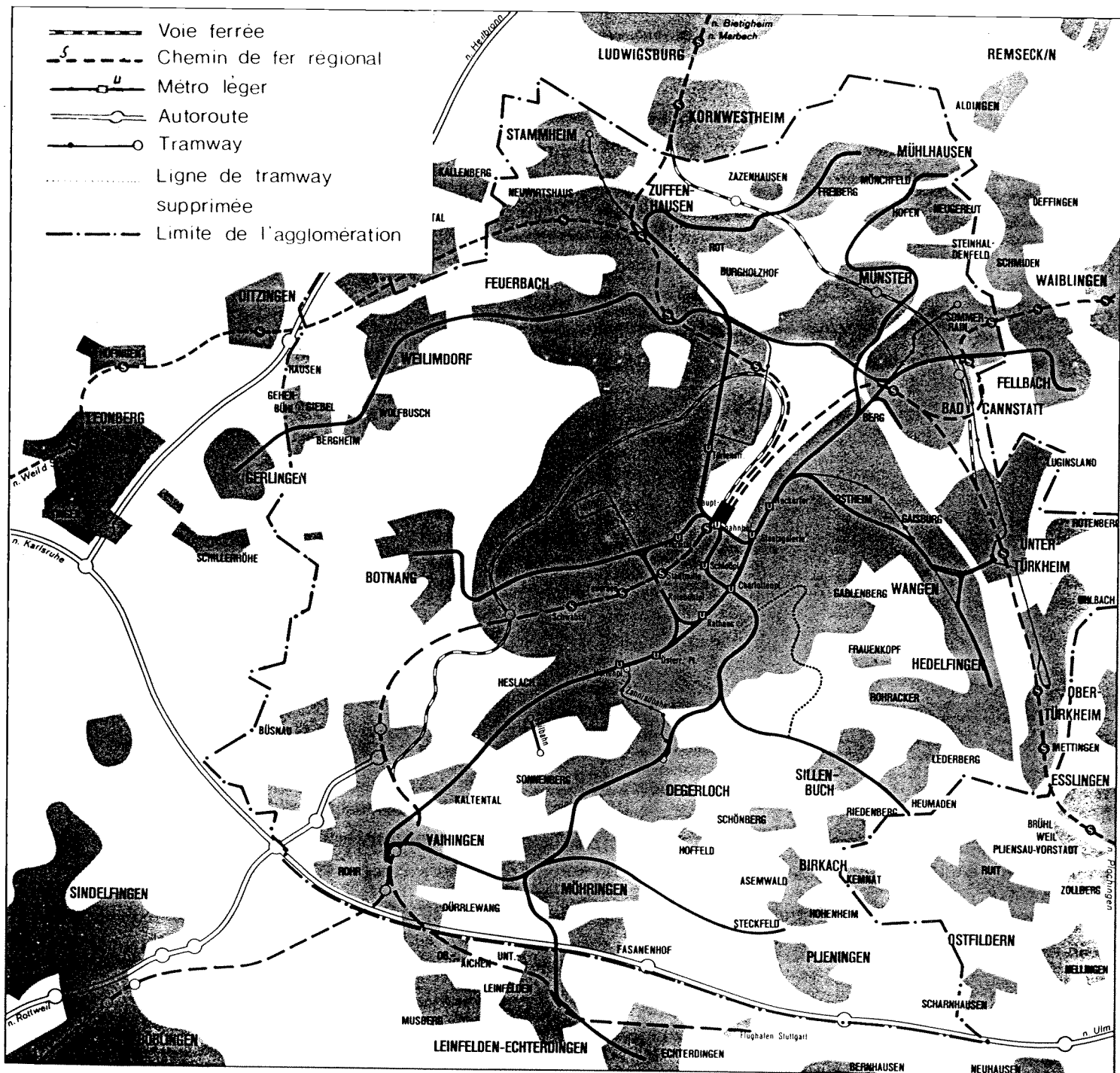
La ville de STUTTGART, capitale du "LAND" de BADE-WURTEMBERG au centre d'une région, le Neckar Central, compte 570.000 habitants sur 207 km², dans une agglomération de 862.000 habitants sur 527 km². C'est l'une des principales métropoles de la R.F.A. dans une région qui compte 2,3 millions d'habitants (Réf. 1 - 2).

Cette ville n'a pas une urbanisation continue. Le centre-ville est situé dans la vallée étroite encaissée du Neckar, l'altitude variant de 200 à 550m ; il est séparé d'une série de quartiers satellites par une zone verte de collines occupée par des parcs, jardins, vignes, forêts....

Les autres centres principaux sont BOHLINGEN, ESSLINGEN, WAIBLINGEN, LUDWIGSBURG.... avec chacun une population oscillant entre 300 et 400.000 habitants.

Siège de l'activité tertiaire, elle est connue comme centre d'édition et de presse et par son industrie automobile. Cette ville est le berceau d'inventeurs tels que DAIMLER, PORSCHE, BOSCH, LEITZ....
Le centre compte près de 230.000 emplois sur 450.000 emplois dans l'agglomération, dont 150.000 emplois sont occupés dans l'industrie.

.../



(Doc.S.S.B.)

PLAN DE RESEAU DE TRANSPORTS DE L'AGGLOMERATION DE STUTTART

I.2. - Organisation générale des transports publics

En 1962, était créé un Syndicat de transport de la région de STUTTGART, le "STUTTGARTER VERSORGUNGS UND VERKEHRSGESELLSCHAFT MBH (S.V.V.), regroupant l'ensemble des transports en commun desservant la région, c'est-à-dire les chemins de fer, les tramways et les bus.

Un plan coordonné a été arrêté portant sur les transports en commun et les transports routiers individuels : chaque fois qu'il apparaît une concurrence avec le transport collectif, on doit arrêter de développer les voiries susceptibles d'accueillir les transports individuels. Ainsi, les communes de la région ont dû établir leur schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme et leur programme d'investissement en tenant compte des lignes de transports collectifs existantes ou en projet.

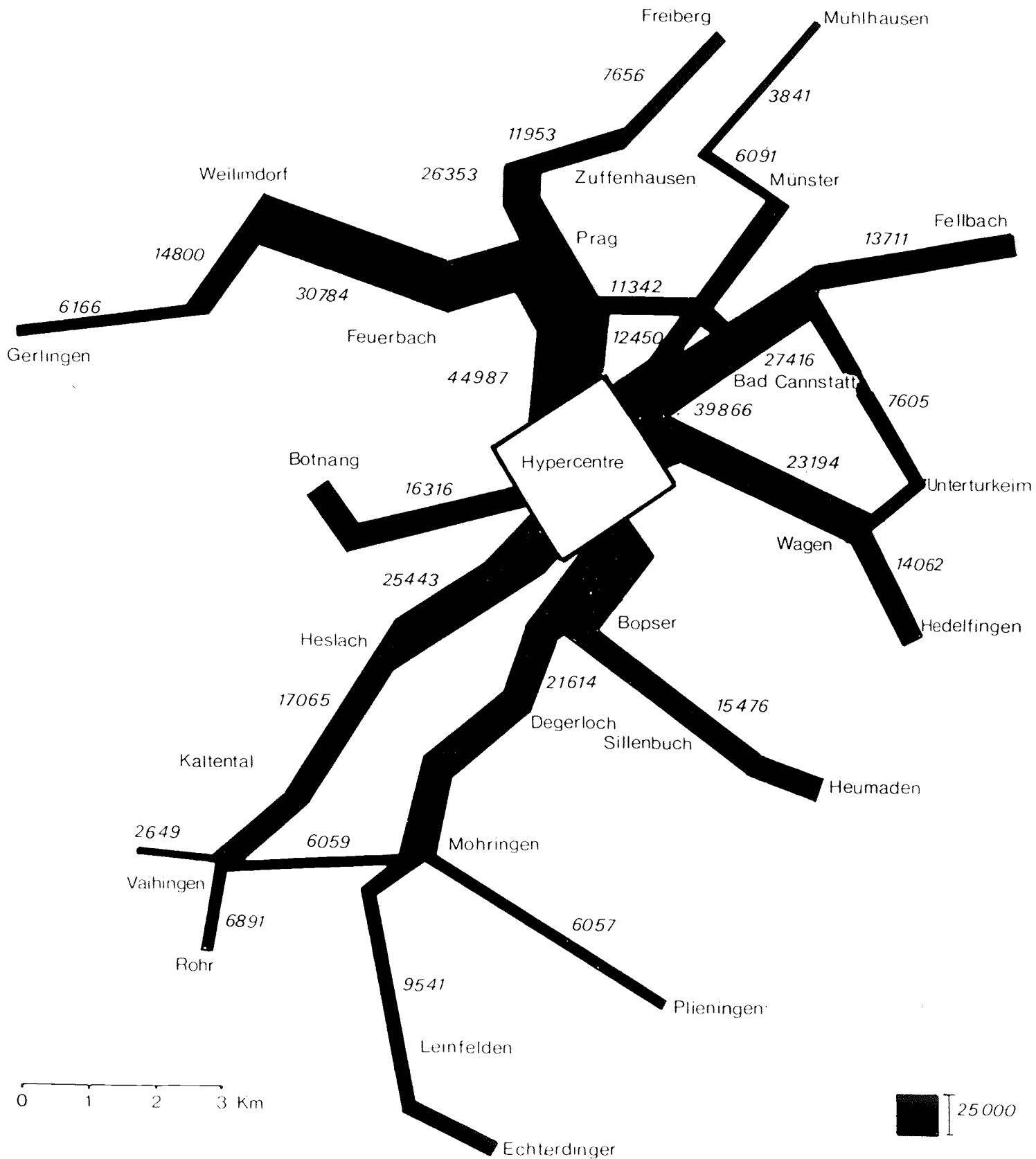
I.3. - Choix du système de transport

En 1959, un rapport d'orientation pour un système de moyens de transports harmonisé préconisait une séparation de la circulation automobile des tramways en enterrant le réseau de tramways et les lignes de chemins de fer dans le centre-ville (Réf. 2).

Dans le cadre de la "conception intégrée des transports urbains de la région de STUTTGART" (I.N.V.K.) du "LAND" de BADE-WURTEMBERG définissant des plans de réseaux de transports collectifs et de transports individuels, les responsables décidèrent :

- La mise en site propre du réseau de tramways existant en commençant par le centre-ville et les axes où il y a les flux les plus importants (cf. figure ci-après) : mise en souterrain dans le centre-ville et mise sur plateforme séparée en dehors du centre.
- La modification du réseau d'autobus qui assurera la desserte locale et le rabattement vers les stations de tramways.
- La traversée en souterrain du centre-ville par les lignes de chemins de fer régional (le S-BAHN), réalisation de stations de correspondances avec le tramway et réalisation d'une gare centrale commune aux grandes lignes de chemins de fer (D.B.), aux lignes régionales (S-BAHN) et aux lignes de tramways.

.../



STUTTGART: FLUX JOURNALIER DU TRAFIC SUR LE RESEAU DE TRAMWAY (dans les 2 sens)
 (document de référence : Centro Studi Sui Sistemi di Trasporto)

En 1975, les Autorités abandonnaient définitivement l'idée du pré-métro pour le remplacer par la conception d'un réseau rapide urbain ou métro léger dont les caractéristiques techniques se situent entre le tramway et le métro.

I.4. - Le financement du projet

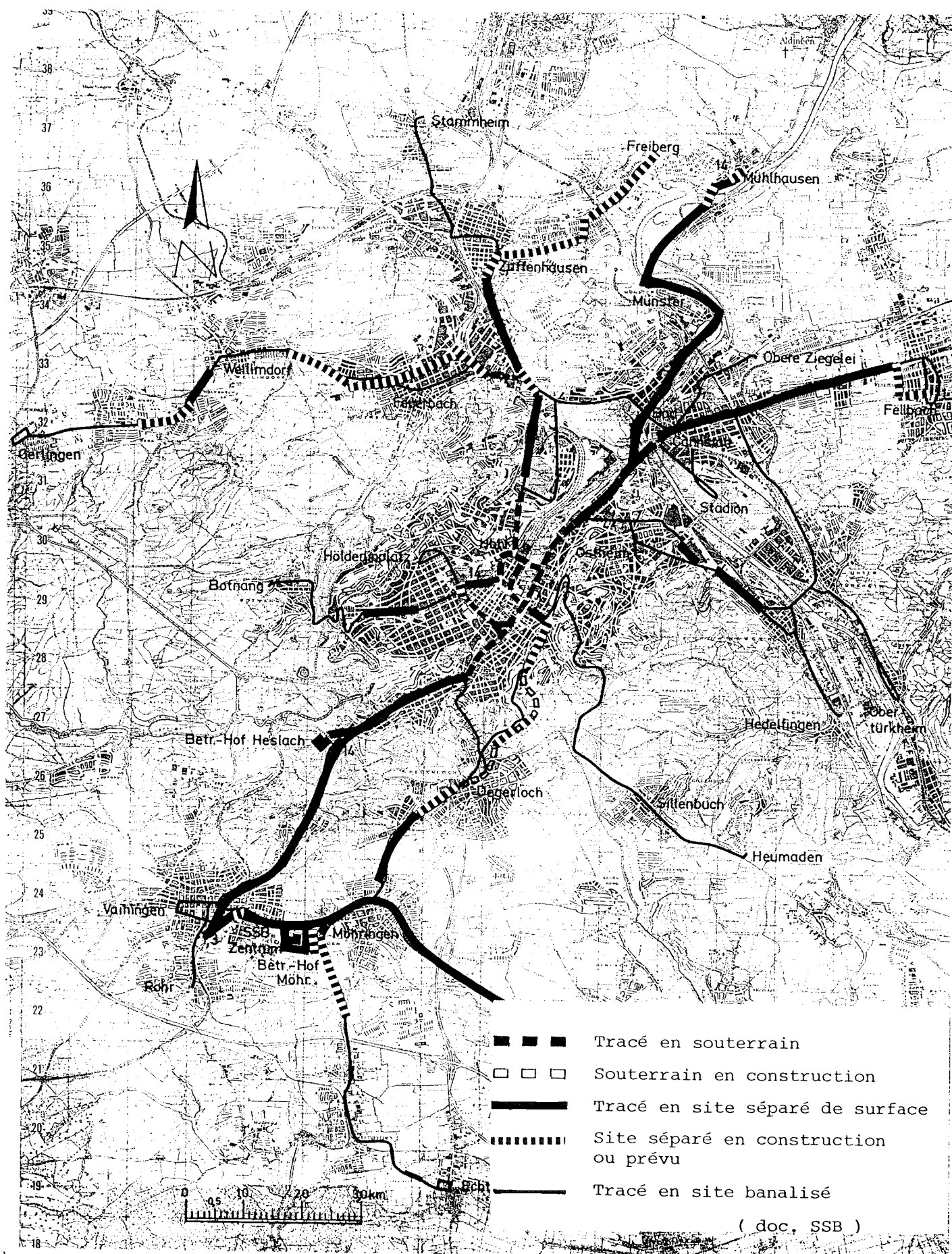
Le réseau de métro léger de STUTTGART est financé selon la loi sur le financement des transports communaux (G.V.F.G.). L'état contribue à 60% des dépenses, la région de BADE-WURTEMBERG à 25%, et la STUTTGARTER STRASSENBAHNEN AG (S.S.B.) à 15% (Réf. 3).

I.5. - Les objectifs

Dès le début des années 1960, le réseau de tramways faisait l'objet de nombreuses améliorations. La répartition modale entre tramways et voitures particulières est, en 1960, de 75/25 en faveur du tramway. Elle s'inverse en 1970 pour tendre vers une répartition de 33/66 en faveur de la voiture particulière. Les Autorités réagissent pour tenter d'équilibrer cette répartition. Le choix du métro léger en 1975 a pour but de stimuler les transports publics, et de les mettre en position de concurrencer les transports individuels. L'aménagement décidé des différents tronçons du réseau de métro léger s'étalera jusqu'en 1995 et comprendra 100 km d'axe dont 20 km d'axe en tunnel.

Ce choix permet de réaliser le réseau projeté par étapes sans perturber l'exploitation du réseau de T.C. existant : depuis 1967, date de la 1ère mise en service de tronçon en site propre intégral, chaque tronçon a pu être intégré immédiatement au réseau de tramways existant. Cette réalisation progressive permet aux responsables de vérifier les améliorations apportées au service offert et l'impact sur les usagers pour éventuellement adapter la réalisation de certains axes projetés en harmonie avec les plans de réseaux de T.C. de l'I.N.V.K.

.../



LE RESEAU DE METRO LEGER DE STUTTGART

(doc. SSB)

II - CARACTERISTIQUES D'EXPLOITATION

II - CARACTERISTIQUES D'EXPLOITATION

II.1. - L'exploitant

L'exploitant du réseau de STUTTGART est la S.S.B., vieille entreprise locale qui s'est créée en 1868, à l'époque de la traction hippomobile, s'est transformée au fur et à mesure de l'évolution technique, et a absorbé les entreprises régionales de transport en commun.

En 1962, la S.S.B. fait partie du syndicat des transports de la région de STUTTGART (S.V.V.) et continue à exploiter le réseau de transport en commun de STUTTGART, les tramways, un funiculaire, un chemin de fer à crémaillère, les bus et le métro léger. La S.S.B. est une société anonyme dont l'actionnaire principal est la ville de STUTTGART.

II.2. - Le mode d'exploitation

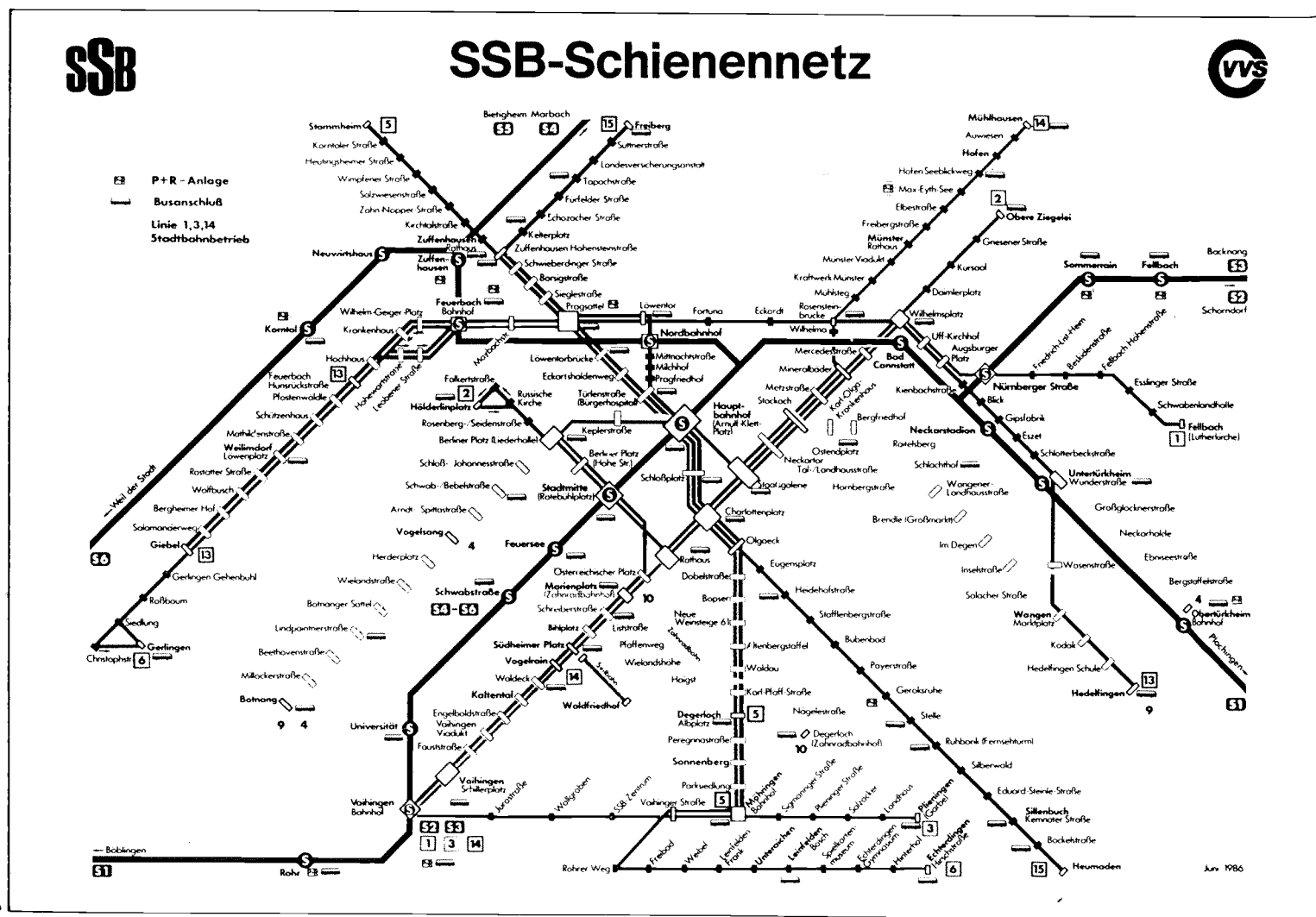
Une caractéristique particulière du réseau de métro léger de STUTTGART est que l'écartement des voies de tramways et de métro est différent. L'écartement de la voie du tramway est métrique, celui du métro léger est normal. Les voies accessibles à la fois au tramway (GT4) et au métro léger (DT8) comportent 3 rails aux écartements correspondants. Les gabarits extérieurs des 2 types de véhicules coïncident. Le rail de droite dans le sens de la marche est utilisé comme rail commun par les tramways GT4 de 2,20m de large, et par le métro léger DT8 de 2,65m de large.

L'exploitation mixte doit encore durer quelques années en raison de la durée des travaux de mise à l'écartement normal de certaines sections ; aussi, les stations sont construites avec des quais latéraux pour pouvoir être utilisées par des rames de type GT4 uni-directionnelles, les quais étant à 2 niveaux (à 90 cm et 15 cm au-dessus du niveau du rail) (Réf. 4).

II.3. Capacité

L'exploitation se fait en général avec des rames de 2 véhicules GT4. Chaque véhicule GT4 offre 165 places. Le nouveau véhicule DT8, exploité pour le métro léger, comporte 248 places. La capacité maximum du métro léger, en formant des rames de 3 véhicules, sera portée pour des fréquences de 2 minutes à 22.320 voyageurs/heure/sens (Réf. 5 - 6).

.../



(doc. SSB)

PLAN DU RESEAU DU CHEMIN DE FER REGIONAL
ET DU METRO LEGER DE STUTTGART

II.4. - Vitesse commerciale

La vitesse maximale des véhicules est de 80 km/h. La vitesse commerciale, qui était de 18 km/h en 1976, est montée avec l'amélioration du réseau (70% de site séparé y compris le tunnel) et la suppression du matériel roulant ancien, à plus de 20 km/h en 1983.

Avec l'arrivée des nouveaux véhicules DT8, du système de contrôle de l'exploitation, la S.S.B. envisage d'atteindre une vitesse commerciale de 25 km/h.

II.5. - Passagers transportés

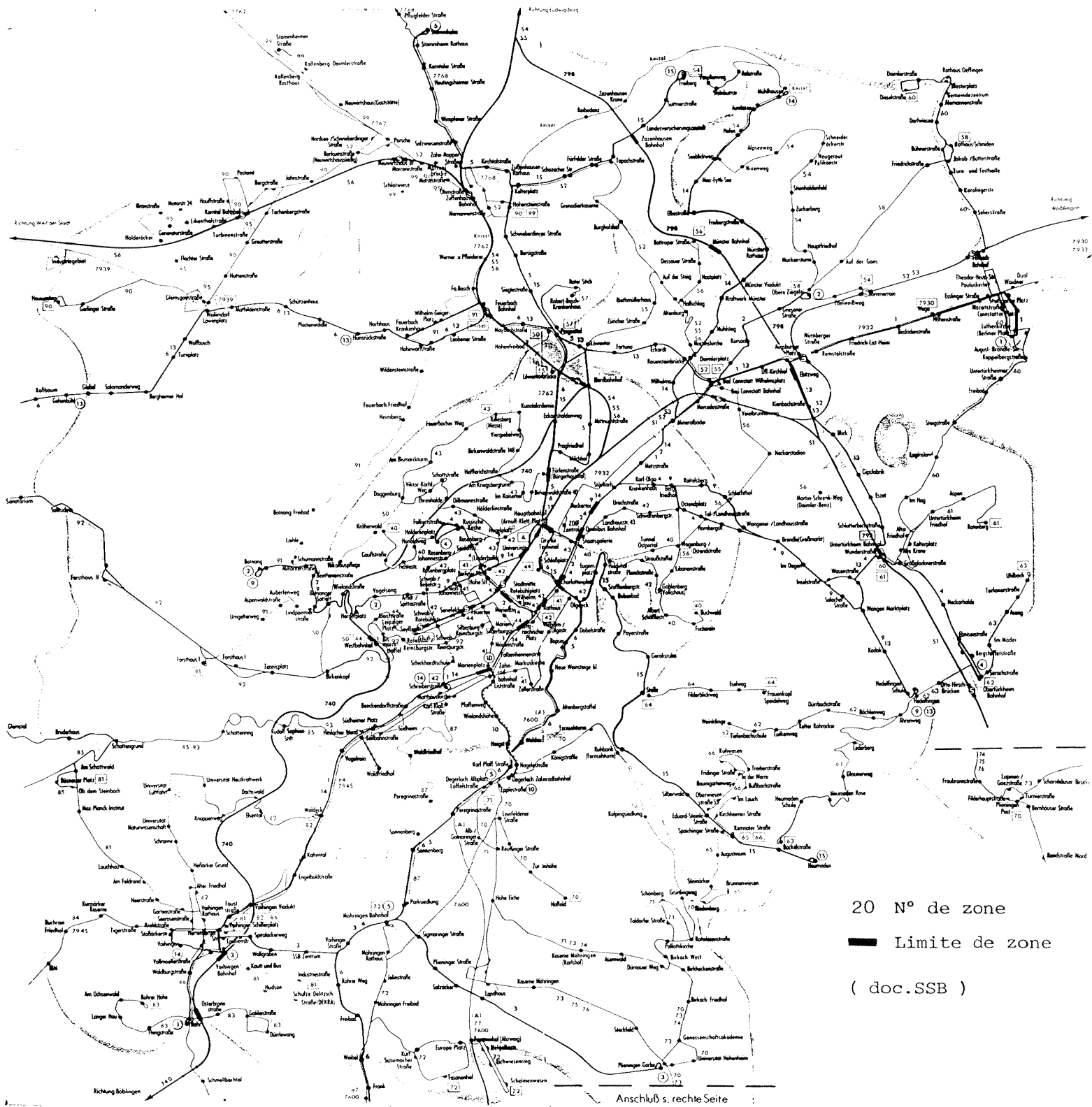
Le nombre de passagers transportés par la S.S.B. a été de 145,4 millions en 1983 contre 127,3 millions en 1978, soit un accroissement de plus de 12%. L'arrivée du nouveau type de matériel roulant DT8 améliorant l'image de marque du métro léger, devrait accélérer cet accroissement. L'utilisation des transports collectifs à STUTTGART pour 1983 se chiffre à 168 voyages par habitant et par an (Réf. 6).

II.6. - La tarification

La S.S.B. et les chemins de fer fédéraux (D.B.) ont constitué en 1978 une communauté de transports et de tarifs de STUTTGART (V.V.S.), dont la structure tarifaire a aussi été appliquée par les transports en autobus de la compagnie des chemins de fer et des postes. Une des caractéristiques de cette communauté est qu'elle a fixé dans son contrat de base avec l'Etat, la Région et la Ville : le tracé du réseau, le plan de développement du réseau ferré régional, le projet du futur métro léger, ainsi que les caractéristiques fondamentales du service et la structure tarifaire de la communauté.

L'intégration tarifaire réalisée, la communauté a institué un découpage en zones formées de couronnes concentriques, le prix des titres variant en fonction de la distance de la zone. Les billets ou cartes d'abonnement sont distribués dans des kiosques ou par des distributeurs automatiques dans les stations. Les tickets sont oblitérés à l'intérieur des véhicules. Les billets à l'unité peuvent être achetés auprès des conducteurs (Réf. 3 - 7 - 14).

.../



ZONES DE TARIFICATION DE LA V.V.S

20 N° de zone
 — Limite de zone
 (doc.SSB)

III - CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU SYSTEME

III - LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU SYSTEME

III.1. - Les véhicules

A) Le nouveau véhicule du métro léger de STUTTGART

1) La caisse

Le véhicule bi-directionnel DT8 est constitué de 2 caisses accouplées sur 2 bogies moteurs chacune. Chaque caisse a une longueur de base de 19m, longueur d'un tramway GT4 circulant actuellement sur le réseau de STUTTGART.

La structure est en acier soudé. La conception de la structure du toit est allégée. Les résistances de freinage prévues initialement dans le toit sont placées dans les coffrets de hacheurs sous le plancher du véhicule. Les bas de caisse sont en aluminium et offrent un bon accès aux équipements et aux bogies.

Il n'y a pas d'accès possible entre les 2 caisses accouplées du véhicule DT8. Ces deux caisses peuvent être rapidement désaccouplées pour la maintenance en atelier (Réf. 2 - 6 - 8 - 9).

2) Les accès

Afin de gagner des places assises, il n'y a que 4 portes pour chaque face latérale du véhicule. Les portes s'ouvrent vers l'extérieur (comme le véhicule GT4) et sont actionnées par l'air comprimé à commande électrique. L'ouverture des portes peut être commandée soit par le conducteur, soit par les usagers. La protection des doigts est obtenue à l'aide d'un disjoncteur à onde de pression au bord intérieur des portes. Les marches, dont 2 escamotables, sont à une hauteur par rapport au rail de 340 mm/220 mm/220 mm/220 mm pour une hauteur de plancher de 1.000 mm. Les sécurités sont obtenues par faisceaux lumineux et par contacts placés dans la marche inférieure et dans la marche supérieure.

.../

3) Le chauffage et la ventilation


Le chauffage est obtenu par air chaud pulsé provenant du plafond (résistances de démarrage des moteurs) et à partir de générateurs de faible puissance placés sous les sièges. On trouve aussi un dispositif de climatisation avec refroidissement et dessèchement de l'air pour l'été. La circulation d'air et la réduction du pourcentage d'humidité évitent la buée sur les vitres qui sont en simple vitrage pour un gain de poids (Réf. 10).

4) Les équipements

On trouve comme alimentation électrique embarquée des batteries 24 volts, et pour l'alimentation des compresseurs et des ventilateurs un réseau triphasé à grande capacité de 380 V/50 Hz.

Un convertisseur statique transforme le courant de tension 750 Volts en tension 24 Volts ou 380 volts/50 Hz.

Equipements auxiliaires :

Le véhicule est équipé de panneaux d'indications, de diagramme des lignes avec indication électronique de la position du véhicule gne, la phonie, radio, signal d'alarme, appareils d'oblitérations, rétroviseurs réglables....

5) La traction

Les bogies : Le châssis des bogies est composé d'une structure en acier léger. Les essieux sont réalisés sous forme de ressorts à lames lemniscates. La suspension primaire est constituée de ressorts hélicoïdaux. La suspension secondaire est constituée de soufflets de suspension pneumatique avec des ressorts en caoutchouc creux pour la stabilité transversale sans traverse mobile sur le cadre du bogie.

Grâce à la suspension transversale asservie et à la suspension longitudinale relativement rigide, l'exploitant prévoit une usure moins importante dans les courbes.

Les roues sont à bague suspendue sur caoutchouc de type BOCHUM. Le profil du bandage correspond essentiellement à la norme BOSTRAB pour tenir compte de l'exploitation mixte avec les tramways (GT4).

.../

Les moteurs et transmissions : Le bogie moteur est du type monomoteur DÜWAG qui a fait ses preuves depuis des dizaines d'années.

Le véhicule DT8 est équipé de 4 bogies moteurs.

Le bloc moteur-transmission est suspendu sur le cadre de bogie.

La transmission étant toujours chargée au maximum avec les hacheurs, on a dû tenir compte de l'usure. La propulsion en tandem reçoit 2 roues coniques hypoïdes à arbres creux, à simple effet, bridées sur le moteur ainsi qu'un embrayage en matières synthétiques Rotex.

La puissance de chaque moteur est de 222 Kw, soit une puissance unitaire sous 750 volts et 300 A de 4 x 222 Kw pour un véhicule.

L'accélération-freinage se fait par hacheur de courant avec récupération d'énergie. Le véhicule est équipé d'un hacheur sur chaque bogie ; ainsi, en cas de perturbation sur un hacheur, on peut encore obtenir avec 3 hacheurs intacts les valeurs d'accélération et de décélération suffisantes, respectant les distances de freinage prescrites dans les normes BOSTRAB.

6) Le freinage

Le véhicule DT8 est équipé de trois dispositifs de freinage différents :

- un frein électrique à récupération, fonctionnant automatiquement par l'intermédiaire d'un hacheur de courant et associé à un frein rhéostatique. Il agit comme le frein de service avec une décélération moyenne de $1,3 \text{ m/s}^2$ à partir de 80 km/h, et une décélération continue de $1,8 \text{ m/s}^2$ à partir de 60 km/h ;
- un frein à ressort actionné par l'air comprimé (1 disque sur chaque essieu) prend le relais du frein électrodynamique. Un convertisseur analogique de commande de freins agit de façon sélective sur les bogies pour qu'en cas de panne d'un hacheur le bogie puisse être freiné à l'aide de l'air comprimé ;
- un dispositif de freinage sur rail s'ajoute au freinage électrique et pneumatique pour le freinage d'urgence. Le véhicule est équipé d'un dispositif automatique d'anti-patinage et d'anti-enrayage.

.../

7) L'attelage

Aux deux extrémités du véhicule est disposé un pare-chocs à centrage automatique et un attelage pneumatique.

8) Installation pneumatique

Le système pneumatique comprend le compresseur et ses réservoirs avec un dispositif pour sécher l'air, l'équipement de freinage, le contrôle des vannes, le dispositif anti-patinage et anti-enrayage. L'air comprimé est utilisé pour la suspension pneumatique, l'ouverture des portes, le mouvement des rétroviseurs, des marches escamotables, du sablage, de l'attelage et pour la lubrification des axes de roues.

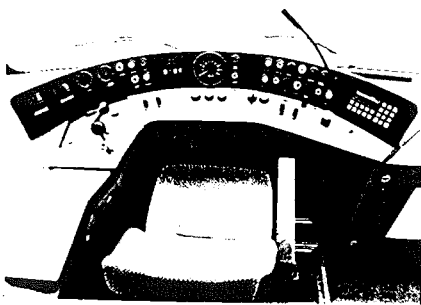
9) Caractéristiques techniques

Les principales caractéristiques du véhicule à huit essieux, bi-directionnel à commande électronique sont (Réf. 9 - 26) :

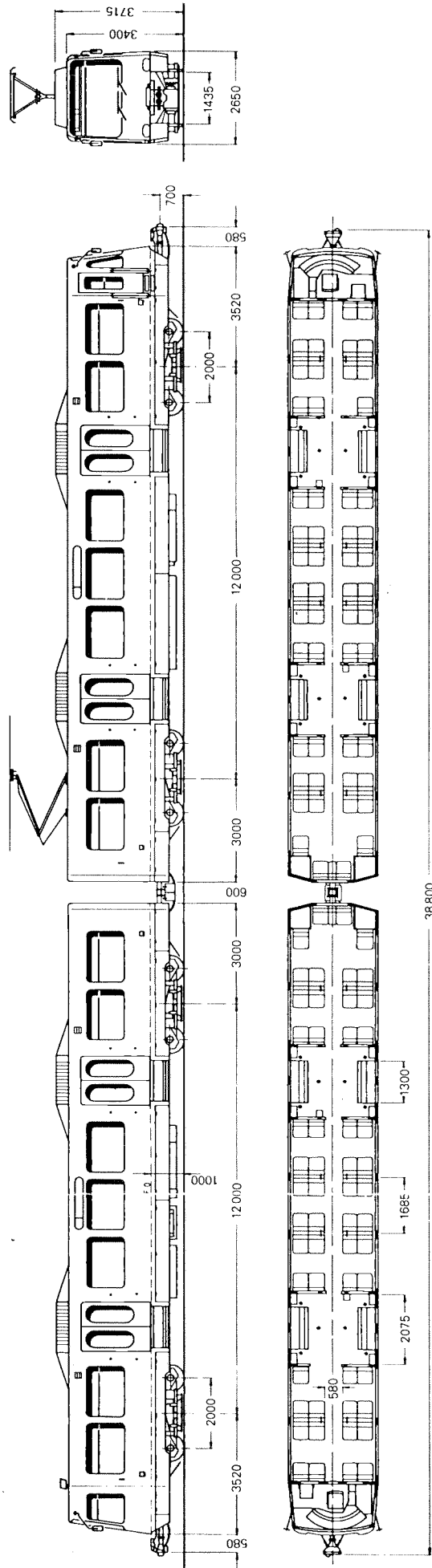
- Longueur hors tout : 38,80 m
- Largeur de caisse : 2,65 m
- Disposition des essieux : B' B' + B' B' (4 bogies moteurs)
- Ecartement des roues : 1,432 m
- Masse à vide : 62 T
- Charge utile maximum : 23 T (8 personnes/m² avec 65 kg/personne)
- Coefficient d'adhérence : 100% - rampe de 7% -
- Nombre de places assises : 112 places
- Nombre de places debout : 122 places (4/m²) ou 183 places (6/m²)
- Capacité normale : 234 places ou 295 places
- Vitesse maximale : 80 km/h
- Accélération au démarrage : 1,3 m/s²
- Décélération avec freinage d'urgence : 3 m/s²
- Longueur de rame maximum 3 véhicules : 116,4 m
- Rayon de courbure minimal : 50 m.

Les directives de construction et d'exploitation des tramways (BOSTRAB) exigent qu'une rame en panne puisse être poussée ou remorquée par une autre, ce qui n'est possible, pour une rampe de 7% sur une section relativement longue, que lorsque tous les essieux sont moteurs : avec cette motorisation et une adhérence de 100%, un véhicule peut continuer à rouler même lorsque l'équipement de traction d'un des deux éléments est hors service.

.../



LE NOUVEAU VEHICULE DT8 QUI ENTRERA EN SERVICE EN
SEPTEMBRE 1985 SUR LA LIGNE 3 (doc. SSB)



(Doc.DUWAG)

DIAGRAMME DU VEHICULE DT8

Les industriels ayant participé à la construction du véhicule DT8 sont :

- DÜWAG pour la caisse et les bogies
- BBC/SIEMENS/AEG pour les équipements électriques

Trois prototypes ont été fournis à la S.S.B. en 1982 et essayés sur le réseau de l'ALBTALBAHN à KARLSRUHE, dont l'écartement de la voie est normal.

A partir de Février 1983, ces trois prototypes circulèrent sur le réseau de la S.S.B. entre MÖHRINGEN et PLIENINGEN. Les essais étaient terminés en Juin 1983.

La commande d'une série de 40 véhicules est passée. Les livraisons sont prévues à partir de Juin 1985, l'exploitation avec ces véhicules commençant sur la ligne 3 en Octobre 1985, sur la ligne 1 entre VAIHINGEN au Sud et FELLBACH au Nord-Est en Mars 1986, sur la ligne 14 de VAIHINGEN à MÜHLHAUSEN au Nord en Juin 1986.

B) Le véhicule utilisé actuellement sur le réseau de métro léger

Le réseau de STUTTGART est actuellement exploité avec des tramways de type GT4 (ESSLINGEN) (actuellement au nombre de 359) de 2,20m de large et circulant sur la voie métrique. Ces véhicules ont été achevés entre 1959 et 1963 (Réf. 5 - 11 - 12).

Les principales caractéristiques de ce véhicule articulé à 2 essieux uni-directionnel sont :

- Longueur : 19m
- Largeur : 2,20m
- Ecartement des roues : 1m
- Nombre total de places : 165
- Nombre de portes : 3
- Vitesse maximale : 60 km/h
- Accélération maximale : 1 m/s^2
- Décélération : $1,2 \text{ m/s}^2$
- Rapport puissance/poids : 10,4 kw/t
- Longueur de rame utilisée : 2 x 19 m
- Alimentation en énergie électrique sous 600 volts continu.



UN TRAMWAY GTM DANS LA STATION HAUPTBAHNHOF

(document SSB)

C) Coût du matériel roulant

Le prix d'une motrice DT8 s'élève à 2,8 millions de D.M., soit 7 millions de F.F., valeur 1980 (avec 1 D.M. = 2,52 F.F.) (Réf. 3).

D) Quelques coûts d'équipements fixes

- La caténaire revient à : 2 millions de F.F. au km - valeur 1980
- Les câbles de transmissions : 5 millions de F.F. au km - valeur 1980
- L'infrastructure :
 - . 1 km de voies en tunnel et 2 stations : 150 à 200 M. de FF. val. 1980
 - . 1 km de voies au sol : 9,3 M. de F.F. val. 1980

Travaux en cours : Mise en site propre des lignes 5 et 6 entre CHARLOTENPLATZ et DEGERLOCH ALBPLATZ (raisons topographiques) sur près de 4,5 km dont 2,6 km en tunnel. Mise en service prévue en 1989 (Réf. 13).

Coûts prévus :

1. De CHARLOTENPLATZ jusqu'à la rampe HOHENHEINER STRASSE (arrêt BOPSER) sur 1 km environ : 16 millions de D.M.
 2. De la rampe HOHENHEINER STRASSE jusqu'à l'arrêt WALDAU sur 2 km environ : 116 millions de D.M.
 3. De l'arrêt WALDAU au dépôt S.S.B. sur 1,5 km environ : 95 millions de D.M.
- soit un total de 227 millions de D.M. (valeur 1985),
soit 703 millions de F.F. (1 D.M. = 3,10 F.F.).

.../

III.2. - Les stations

A) Les arrêts

Il existe plus de 200 arrêts situés le long des lignes du réseau de surface d'une longueur de 80 à 120m, selon que l'on se trouve sur une ligne de tramways ou du futur métro léger, la hauteur de quai variant de 15 cm (quai bas) à 90 cm (quai haut).

Sur les lignes de métro léger, dont les mises en service vont s'échelonner à partir d'Octobre 1985, les arrêts existants vont être équipés de quais surélevés (24 arrêts sont programmés à partir de Mars 1985). Ces arrêts sont en général équipés d'abris, de signalétique et de distributeurs de titres.

B) Les stations

Dans le centre-ville où le réseau a été enterré, on trouve 12 stations aux caractéristiques géométriques du métropolitain. Les quais ont une longueur de 120m (pour une rame de 3 véhicules DT8).

Actuellement, une partie (40m) se situe à un niveau haut de 0,90m (au-dessus du rail), l'autre partie niveau bas (0,15) pour l'exploitation avec les véhicules GT4.

Ce type de station convient à une exploitation mixte (véhicules DT8 + GT4). Les quais des stations sont surveillés par caméras reliées au poste de contrôle de RATHAUS (Réf. 15 - 16 - 17).

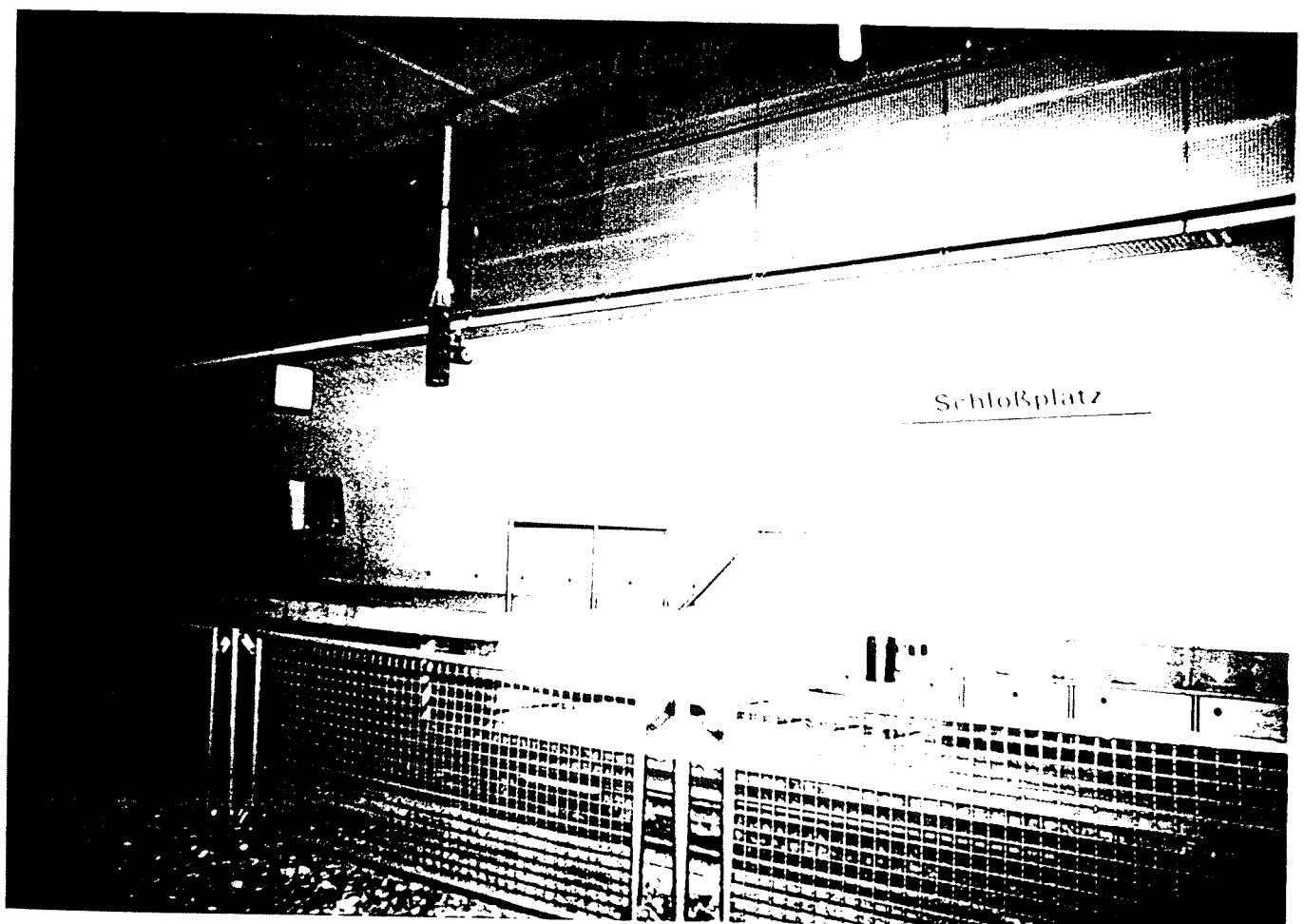
C) Les stations de correspondances

L'utilisation intégrée du métro léger, de l'autobus et du chemin de fer (S-BAHN) nécessite des points de correspondances en général situés aux terminus des lignes de tramways près des stations de la S-BAHN à la gare centrale. Certaines stations de correspondances à la périphérie ont des parkings de dissuasion (ex. VAIHINGEN BAHNHOF 90 places).

.../



STATION TYPE SUR LE RESEAU DE SURFACE EN SITE BANALISE



STATION SOUTERRAINE AVEC QUAI BAS POUR L'EXPLOITATION AVEC LES VEHICULES GT4 :
LE QUAI DEFINITIF EST REALISE EN PARTIE (AUX BRUXELLES)

III.3. - La voie

A) L'alimentation en énergie électrique

L'alimentation en énergie électrique se fait à partir de sous-stations (plus de 40) de redressement en remplacement des anciennes installations. Ces sous-stations peuvent transformer le courant d'une tension de 600 volts continu en une tension de 750 volts continu pour l'exploitation du réseau avec les nouveaux véhicules DT8.

La S.S.B. a adopté une caténaire "stabilisée", constituée d'une ligne de contact avec tendeur automatique pour maintenir la flèche constante. Elle est d'un coût d'investissement et de maintenance moins élevé : cette installation est conçue pour la récupération d'énergie par le freinage des véhicules DT8.

L'installation des câbles aériens est supportée en général en site séparé par des poteaux implantés soit dans l'entr'axe de la plateforme, soit latéralement selon les largeurs d'emprises. Ces poteaux sont utilisés souvent comme supports de luminaire de l'éclairage public des voies latérales (Réf. 18 - 19).

B) La pose de la voie

Caractéristiques de tracé en plan :

- L'emprise minimum réservée en site séparé est de 6,70m avec un entr'axe de 3,70m. En souterrain, la largeur varie de 7,50m à 7,95m pour les premiers tronçons. Les ouvrages réalisés dernièrement ont une largeur de 8,10m qui sera dorénavant respectée pour l'avantage d'une ventilation naturelle (Réf. 3 - 20).
- Le rayon minimum est de 50m (actuellement sur la Talquerlinie lignes 5 et 6, les voies de tramways ont un rayon minimum de 29m).
- Au droit des stations de surface, le rayon minimum est de 300m.
- Au droit des stations de tunnel, le rayon minimum est de 500m.
- En profil en long, la pente maximale est de 7% (actuellement sur le réseau tramways, elle est de 8,5% ; elle atteint 18% pour le tramway à crémaillère ligne 10 ; 27% pour le funiculaire).

.../

- L'écartement des voies de l'ensemble du réseau est métrique pour une exploitation avec les anciens véhicules GT4 ; néanmoins, en vue d'une exploitation mixte d'abord, puis pour le remplacement progressif par les nouveaux véhicules du métro léger DT8, la S.S.B. a posé un 3ème rail pour obtenir l'écartement de 1.435 mm.

Le rail de droite (sens de marche) étant identique pour les véhicules DT8 et GT4, l'exploitation mixte ne pose pas de problème de gabarit dans les stations. Par contre, cette opération nécessite de reprendre l'ensemble des voies anciennes, poser de nouvelles traverses (2,40m) pourvues d'une 3ème selle de rail et poser le 3ème rail.

Différents types de voie existant à STUTTGART (Réf. 20 - 23) :

- . La voie sur ballast

On utilise des rails S 49 fixés sur des traverses bois, posées sur ballast : sur ce type de voie, les longueurs de traverses étant prévues, on peut fixer ou enlever le 3ème rail nécessaire à l'exploitation mixte.

- . La voie couverte sur ballast

Pour assurer la continuité des rails Vignole dans les carrefours de passages piétons, on pose des dalles béton ou des plaques de caoutchouc dur de part et d'autre des rails au droit de ces passages. Cette méthode est aussi utilisée près d'habitations par souci d'esthétique, mais lorsqu'il y a renouvellement et entretien de la voie, la maintenance est plus coûteuse.

- . La voie sans ballast

L'absence de ballast entraîne un manque d'élasticité. On doit donc interposer entre les rails et la dalle de béton des matériaux élastiques. La maintenance de ce type de voie est moins coûteuse que pour les types précédents.

- . La voie avec rail à gorge

La voie couverte avec rail à gorge est la voie classique de tramway. Elle se situe en site localisé, en général sur les anciennes lignes. L'assise est constituée d'une dalle de béton. Les rails à gorge sont fixés en interposant une semelle élastique sur le béton pour amortir les vibrations.

.../



UNE RAME DE VEHICULE GT4 (Ecartement 1,00) SUR UNE VOIE EN SITE SEPARÉ : LA LIGNE 3
EST LA 1^{ère} LIGNE SUR LAQUELLE EST MIS EN SERVICE LE NOUVEAU VEHICULE DT8 DU METRO
LEGER (Ecartement 1,435)



LIGNE 3 PROTECTION TYPE " CHEMIN DE FER " AU DROIT D'UN CARREFOUR

C) Les sites

La tracé de ces voies se répartit selon 3 types de sites sur l'ensemble du réseau :

- . le site propre,
- . le site réservé,
- . le site banalisé

1. Le site propre intégral

La partie centrale du réseau se trouve en site propre intégral (tunnel). Les lignes concernées sont :

- * la ligne 1 entre MARIENPLATZ au Sud et STOCKACH au Nord,
- * la ligne 6 de OLGAECK vers PROGRIEDHOF au Nord,
- * la ligne 14 de KEPLERSTRASSE à la gare centrale (HAUPTBAHNHOF),
- * la ligne 13 de PRAGSATTEL au Nord vers FEUERBACH BAHNHOF à l'Ouest.

Le linéaire de l'ensemble de ces tronçons est de 10,3 km (Réf. 21 - 22)

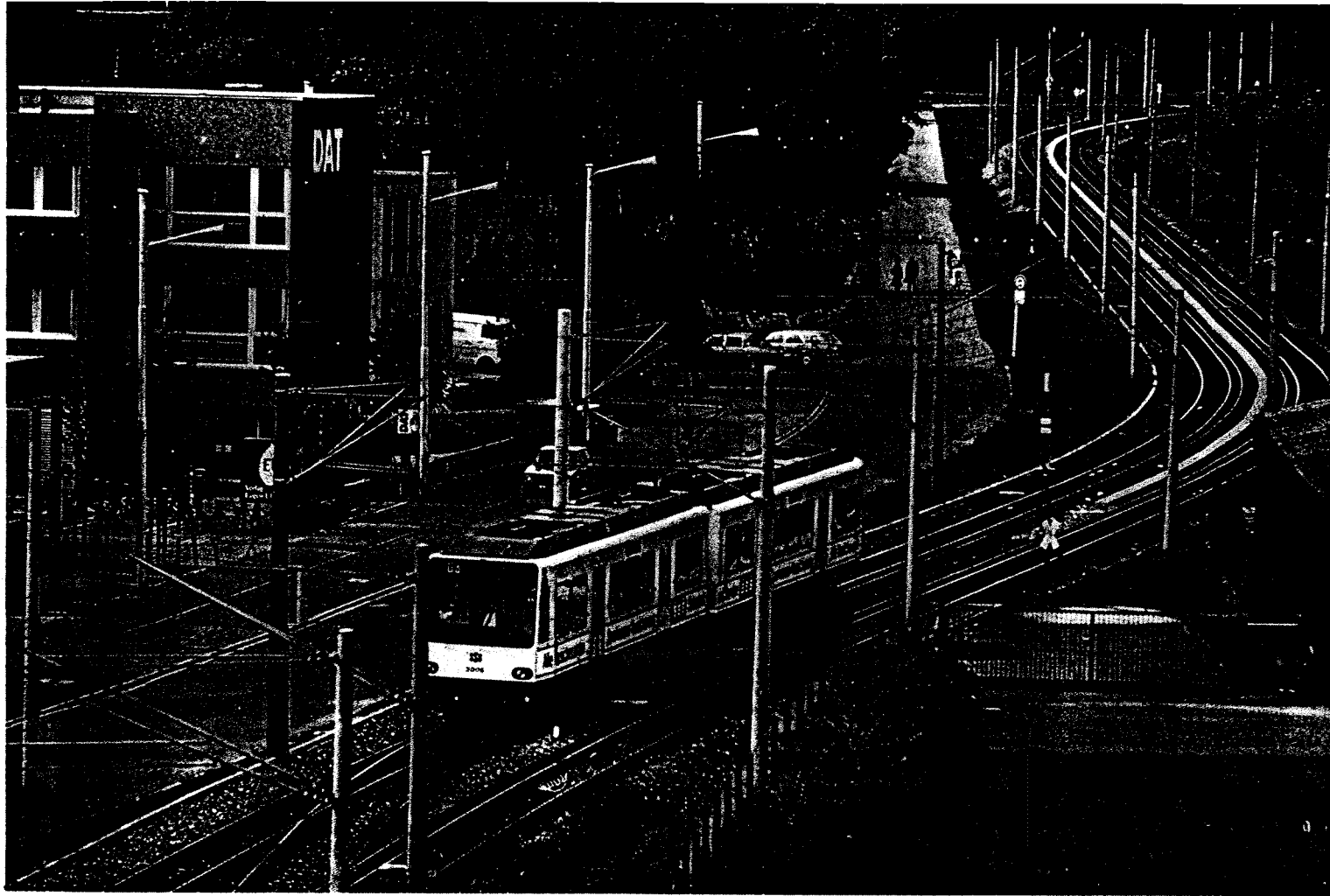
2. Le site séparé

Dans ce type de site, on trouve les voies sur une plateforme réservée dans l'emprise de la chaussée, en général située dans l'axe et limitée par des séparateurs constitués de bordures ou parfois de garde-corps.

On trouve sur l'axe Nord-Sud emprunté par les lignes 14, 1, 2, axe qui part de MÜHLAUSEN et OBERE ZIEGELEI au Nord, passe par HAUPTBAHNHOF, ROTBUHLPLATZ, arrive à VAIHINGEN et ROHR, un linéaire de site réservé par ligne de :

* ligne 1	16,313 - 3,85 (tunnel)	=	12,463 km
* ligne 2		=	5,794 km
* ligne 14	8,072 - 2,8	=	5,272 km
		soit	<hr/> 23,529 km

.../



(document SSB)

LE PROTOTYPE DT8 EN COURS D'ESSAI SUR LA LIGNE N°3 PRES DU GARAGE ATELIER DE LA
SSB ZENTRUM A MÖHRINGEN SUR UNE VOIE EN SITE SEPARÉ , ON REMARQUE LE 3^{ème} RAIL
DE LA VOIE NORMALE .

- Sur l'axe Nord-Sud emprunté par les lignes 5, 15, axe qui part de STAMMHEIM et FREIBERG au Nord, passe par HAUPTBAHNHOF, arrive à MÖHRINGEN BAHNHOF et HEUMADEN, on trouve un linéaire de site réservé par ligne de :

* ligne 5		=	7,562 km
* ligne 15	7,301 - 2,35 (tunnel)	=	4,951 km
		soit	<u>12,513 km</u>

- Sur l'axe Nord-Ouest - Sud et Nord-Est emprunté par les lignes 6, 13, axe qui part de GERLINGEN au Nord-Ouest à HINTERHOF au Sud, de GERLINGEN à HEDELFINGEN à l'Est, on trouve un linéaire de site réservé par ligne de :

* ligne 6		=	15,650 km
* ligne 13	5,966 - 1,28	=	4,686 km
		soit	<u>20,336 km</u>

- Sur l'axe Ouest-Est emprunté par les lignes 9, 4 et 2, axe qui part de BOTNANG à l'Ouest, passe à HAUPTBAHNHOF et arrive à l'Est de HEDELFINGEN la ligne 4 partie d'HÖLDERLINPLATZ rejoint la ligne 9 à STAATSGALERIE pour arriver à l'Est à OBERTÜRKHEIM BAHNHOF, on trouve un linéaire de site réservé par ligne de :

* ligne 9	=	5,293 km
* ligne 4	=	2,733 km
* ligne 2	=	pour mémoire
		<u> </u>
soit		8,026 km

.../



VOIES EN SITE SEPARÉ AVEC QUAI BAS DE L'ARRÊT



VOIES EN SITE BANALISÉ PROTÉGÉ PARTIELLEMENT PAR LA SIGNALISATION HORIZONTALE

- Sur l'axe transversal Est-Ouest au Sud de la ville, on trouve la ligne 3 entre PLIENINGEN et VAIHINGEN BAHNHOF avec un linéaire de site réservé de :

* ligne 3 = 7,667 km

- Enfin, la ligne 10 est une ligne de tramways à crémaillère de 2 km avec une pente maximum de 18% qui relie la station MARIENPLATZ à DEGERLOCH ZAHNRAD BAHNHOF, on trouve un linéaire de site réservé de
= 1,778 km

L'ensemble des axes décrits ci-dessus donnent un linéaire de site réservé de 73,849 km.

3. Le site banalisé

Dans ce type de site, on trouve les voies dans la chaussée. A STUTTGART les voies sont généralement signalées par des lignes continues ou discontinues repérant le gabarit des tramways au sol. On ne considère pas ici les lignes continues comme une protection de la plateforme des voies du métro. Sur chacun des axes, on trouve un certain linéaire de site banalisé correspondant à l'ancien réseau de tramway. Ainsi, on trouve sur :

- L'axe Nord-Sud MÜHLAUSEN - ROHR, lignes 14, 1, 2 :

* ligne 14 = 0,209 km

* ligne 1 = 2,821 km

* ligne 2 = 2,836 km

- L'axe Nord-Sud STAMMHEIM - HEUMADEN, lignes 5, 15 :

* ligne 5 7,540 km

* ligne 15 4,477 km

- L'axe transversal Nord Ouest - Est, ligne 13, l'axe diamétral Nord-Sud, ligne 6 :

* ligne 6 4,974 km

* ligne 13 0,645 km

.../

- L'axe diamétral Ouest-Est, lignes 9, 4, 2 :

* ligne 9	0,903 km
* ligne 4	5,849 km
* ligne 2	pour mémoire

- L'axe Sud transversal Est-Ouest, ligne 3 :

* ligne 3	0,167 km
-----------	----------

C'est sur cette ligne que les prototypes DT8 du métro léger sont en essais.

- Enfin, la ligne 10 du tramway à crémaillère :

* ligne 10	0,220 km
------------	----------

soit un linéaire de site banalisé sur l'ensemble des lignes de 30,641 km.

L'ensemble des linéaires sont repris dans le tableau suivant :

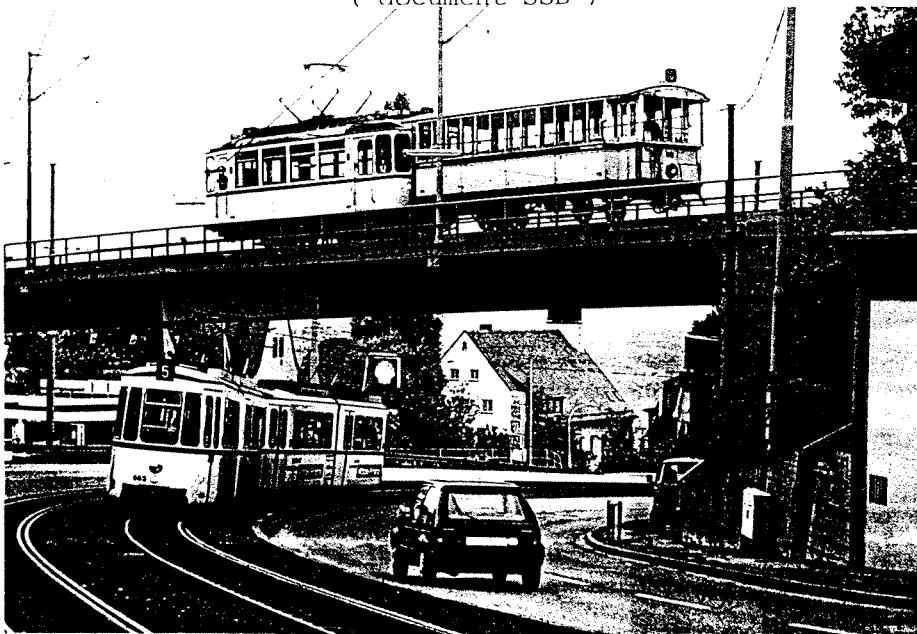
Répartition des types de site selon les lignes

Désignation	linéaire total exploité		Lignes du réseau (km de voie double)										
		%	1	2	14	5	15	6	13	9	4	3	10
1. Site propre intégral	10,30	8,9	3,85		2,8		2,35		1,28				
2. Site réservé	73,85	64,3	12,46	5,79	5,27	7,56	4,96	15,65	4,69	5,29	2,73	7,67	1,78
3. Site banalisé	30,62	26,7	2,82	2,84	0,21	7,54	4,48	4,97	0,64	0,90	5,85	0,17	0,22
	114,77	100	19,13	8,63	8,28	15,1	11,79	20,62	6,61	6,19	8,58	7,84	2
	km de voie double												

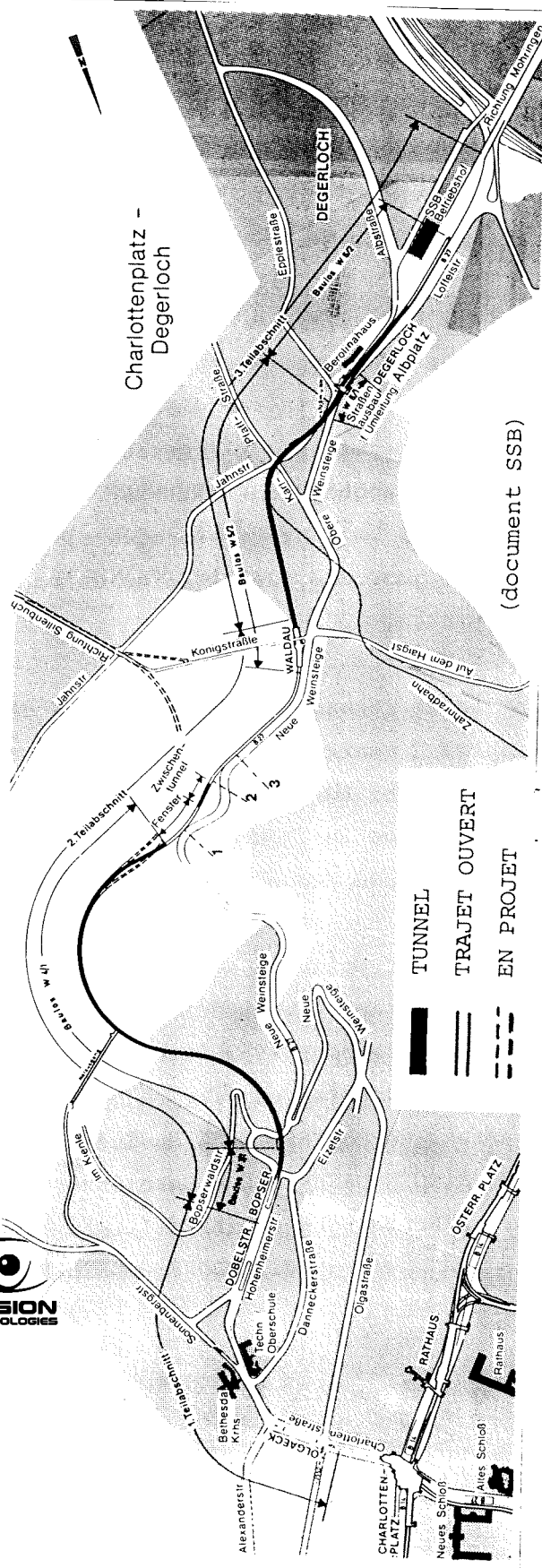
La lecture de ce tableau montre que le réseau de métro léger a plus de 70% de ses voies en site réservé et en site propre intégral. Les linéaires sont donnés en longueur d'axes (voie double) et non en longueur de lignes. Lorsque deux lignes passent sur le même axe, on ne retient que les linéaires complémentaires pour chacune des lignes.



TRAVAUX DE MISE EN SITE PROPRE DES LIGNES 5 ET 6 SUR LA NEUE WEINSTEIGE
(document SSB)



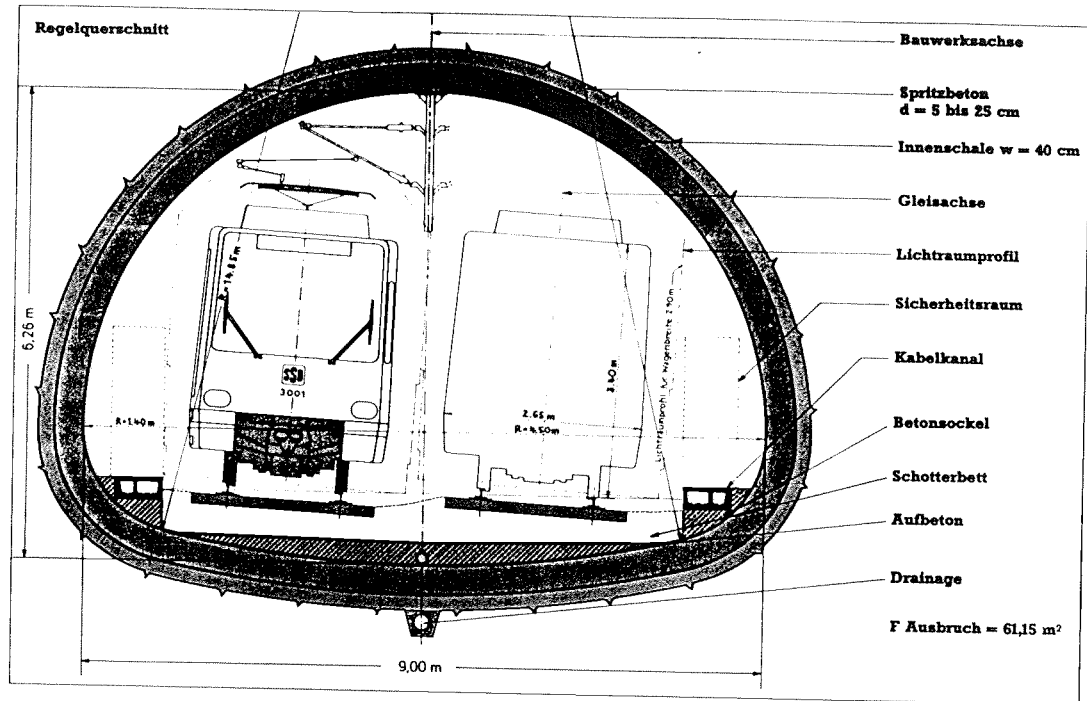
COURBE SUR LA NEUE WEINSTEIGE : ON REMARQUE LE CONTRE RAIL
DANS UNE FORTE RAMPE ET UNE COURBE A PETIT RAYON (CCC - SSB)



- NOUVEAU TRACE ENTRE BOPSER ET SSB BETRIEBSHOF (mise en service en 1989)
- ANCIEN TRACE PAR LA NOUVELLE ROUTE DES VINS (NEUE WEINSTEIGE) en site banalisé

- Depuis Septembre 1985, l'exploitation avec le nouveau véhicule DT8 a commencé sur la ligne 3 au Sud de la ville, entre PLIENINGEN VAIHINGEN, sur 7,67 km d'axe, dont seulement 0,170 km en site banalisé.
- En Mars 1986, l'exploitation avec le véhicule DT8 a commencé sur la ligne 1 entre VAIHINGEN et FELLBACH sur 19,13 km d'axe, dont 2,82 km en site banalisé linéaire qui doit encore être réduit par des travaux en cours à FELLBACH (BERLINERPLATZ).
- En Juin 1986, l'exploitation avec le véhicule DT8 commencera sur la ligne 14 le long de la vallée entre VAIHINGEN et MÜHLHAUSEN sur 8,28 km d'axe (supplémentaire à la longueur d'axe de la ligne 1), avec seulement 0,210 km de site banalisé qui devrait être supprimé par les travaux en cours entre le pont HOFENER WEHRBRÜCKE jusqu'à MÜHLHAUSEN. Ainsi, en 1986, 35 km d'axe (voie double) sur les lignes 1, 3 et 14 seront utilisés pour une exploitation en métro léger avec des véhicules neufs, soit presque 1/3 du réseau.
- Le pourcentage de réseau en site propre ou séparé va encore s'améliorer dans les années à venir. En effet, actuellement, des travaux de mise en site propre entre BOPSER et DEGERLOCH, lignes 6 et 5 qui passent en site banalisé sur la "Nouvelle Route des Vins" ou TALQUERLINIE, voie très dangereuse en hiver avec de nombreuses courbes en lacet (de R = 29m) et de fortes rampes dépassant parfois les 7%. Le linéaire de cette mise en site propre est d'environ 5 km dont 2,6 km de tunnel. La mise en service de cette nouvelle voie entre BOPSER et DEGERLOCH est prévue pour 1989. Avec cette mise en service en 1989, la S.B.B. prévoit la mise en service du métro léger d'une diamétrale Sud-Nord partant de ECHTERDINGEN au Sud (terminus de la ligne 6), passant à MOHRINGEN-DEGERLOCH - Gare Centrale - PRAGSATTEL (lignes 6 et 5), vers le Nord ZUFFENHAUSEN-FREIBERG (ligne 15), 25 km environ, ou vers l'Ouest par FEUERBACH - WEILIMDORF - GERLINGEN (ligne 6), 30 km environ.

.../



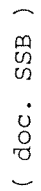
(Doc. S.S.B.)

Coupe du Tunnel en construction sur la NEUE WEINSTEIGE.



(Doc. S.S.B.)

Un Arrêt avec quai à niveau sur la Ligne N°3 du Métro Léger.



LE RESEAU DE METRO DANS LE CENTRE DE STUTTGART.

- En prévision de ces mises en services (ligne 6 vers GERLINGEN ou ligne 15 vers FREIBERG), on continue les mises en site propre ; ainsi à FEUERBACH la S.B.B. prévoit un prolongement de tunnel entre FEUERBACH BAHNHOF et HOCHHAUS, soit 1,7 km environ pour 1989. Ainsi en 1989, pour un linéaire global du réseau constant 115 km (voie double), le linéaire de site banalisé doit baisser de plus de 10 km soit en pourcentage :

- Site propre et séparé : 95 km soit $\frac{95}{115} = 82\%$

- Site banalisé : 18%

Les prévisions pour 1995 sont d'exploiter un réseau de métro léger qui comprendra 100 km (voie double) en site séparé, dont 20 km en site propre intégral (tunnel).

III.4. - La régulation du trafic

A) Gestion des feux de carrefours

Sur les tronçons de surface en site réservé ou banalisé, les rames circulent à vue. Les carrefours sont équipés de système de priorité aux feux, avec phase spéciale pour le métro léger, système non encore généralisé. En dehors des zones très urbanisées, le métro léger dispose d'une priorité absolue du type chemin de fer.

Les développements en cours vont dans le sens d'une priorité conditionnelle accordée aux transports en commun aux carrefours : la priorité perd son aspect systématique et devient fonction du retard ou de l'avance des véhicules.

B) Le système de contrôle de l'exploitation par ordinateur

Les tronçons en site propre intégral (tunnel) et quelques tronçons en site séparé sont équipés de dispositifs de protection de trains (par cantonnement) et surveillés à l'aide de tableaux de contrôle optique et de moniteurs de télévision à partir du P.C. de la S.S.B.

(60 caméras reliées à 9 moniteurs) (Réf. 2 - 26 - 18 - 19).

Actuellement, les itinéraires sont enclenchés depuis la cabine des véhicules (GT4). Aux embranchements, il y a transmission entre le sol et le véhicule (boucle inductrice). Les tronçons en pente ou en virage à rayon minimum sont équipés d'arrêts automatiques des trains.

Pour l'exploitation avec le nouveau véhicule (DT8), il est prévu un dispositif de surveillance permanente de la vitesse (Z.U.B.), commandé par ordinateur qui maintient le véhicule à la vitesse de consigne, ce qui simplifie les équipements de la voie. Ce système se chargera de transmettre les instructions nécessaires telles que l'identification de la ligne, la commande des signaux, la surveillance de fermeture des portes et des quais, l'information des voyageurs. Il est possible de relier ce système (Z.U.B.) au système IBIS (INTEGRiertes BORD-INFORMATIONEN SYSTEM) en service sur le réseau d'HANOVRE.

III.5. - Les garages ateliers et dépôts

Parallèlement à l'amélioration du réseau en vue de l'exploitation du métro léger, la S.S.B. a adapté l'atelier principal à MÖHRINGEN où se trouve le siège de l'entreprise (S.S.B.-ZENTRUM) afin de pouvoir entretenir à la fois les anciens véhicules GT4 et les nouveaux DT8, les 3 prototypes étant essayés sur la ligne 3 à proximité. Un nouvel atelier de construction de voies a été installé pour remplacer l'atelier existant.

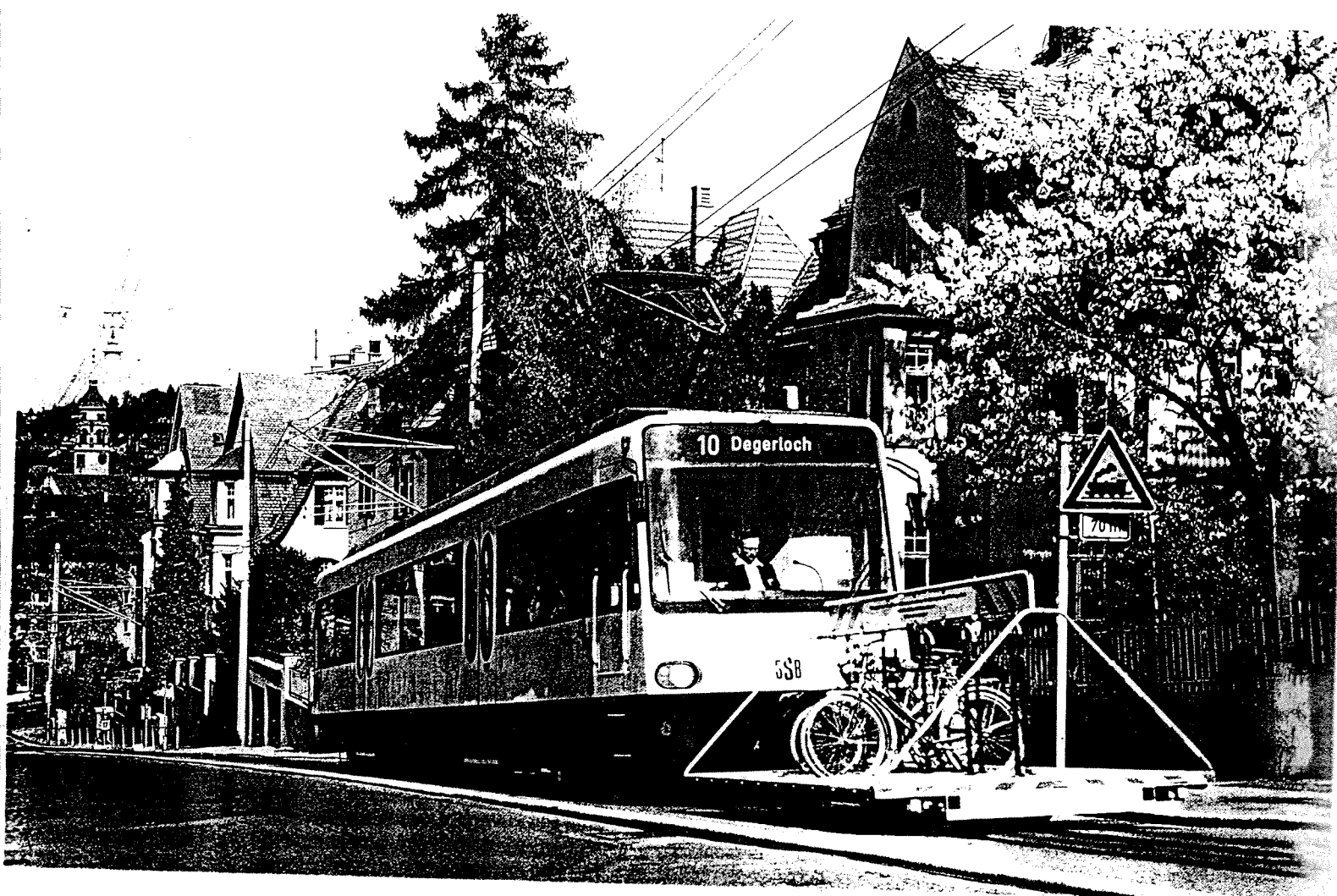
Le long de la ligne de la vallée (TALLANGSLINIEN) (lignes 1 et 14), un nouveau garage atelier a été construit pour recevoir les 43 véhicules DT8 nécessaires à l'exploitation des lignes 3, 1 et 14 à HESLACH près du funiculaire (SEILBAHNSTRASSE).

Pour l'exploitation des lignes traversant la vallée (TALQUERLINIEN) avec le métro léger DT8 en 1989, un garage atelier sera mis en service à WEILIMDORF / GERLINGEN sur les lignes 6 et 13 au Nord-Ouest (Réf. 24 - 25).

Pour les lignes Est-Ouest, un garage atelier sera construit à VOGELSANG sur les lignes 2 et 9 près du centre de la ville. Il est prévu un 5ème garage atelier au Nord sur la ligne 5 à ZUFFENHAUSEN près de PORSCHESTRASSE. D'ici 1990, la S.S.B. devrait avoir 5 garages ateliers répartis du Nord au Sud de l'agglomération.

En 1983, 1.200 employés travaillent dans les ateliers à l'entretien du matériel roulant, à la construction et à la maintenance des voies.

.../



Source S.S.B.

Le véhicule à crémaillère du réseau de STUTTGART
Rampe de 18% sur la ligne 10 de 2 km en site séparé

III.6. - Le personnel du métro léger

- La S.S.B. employait, en 1983, 433 personnes aux services administratifs, la direction, le service du personnel, le service commercial et relations publiques....

- L'exploitation du réseau emploie 1.420 conducteurs et contrôleurs.

- Les services techniques emploient 1.206 personnes, soit un personnel total de 3.059 personnes (Réf. 6).

III.7. - Conclusion

En 1978, 4 stations de chemin de fer régional (S-BAHN) étaient mises en service avec une station près de la gare centrale (chemin de fer + tramways), tout près de la zone piétonnière de la KÖNIG STRASSE principale rue commerçante de la ville.

En 1985, la 1ère ligne de métro léger est exploitée avec un matériel roulant moderne, attrayant par son confort (air conditionné, suspension pneumatique.....) et sa vitesse, tenant compte des souhaits des voyageurs (enquêtes lors de l'exploitation sur la ligne 3 avec les prototypes) utilisant les dernières techniques de matériel de transport et adapté aux conditions particulières du réseau de l'agglomération de STUTTGART. La S.S.B. a essayé d'obtenir pour le nouveau véhicule, le design qui devrait rehausser les transports en commun de la ville aux yeux du public. De nombreuses améliorations aux prototypes ont été apportées aux véhicules de série qui profiteront à l'ensemble des personnels d'atelier, conducteurs et voyageurs. La S.S.B. propose même d'utiliser ces prototypes dans le cadre du projet de recherche sur le métro léger de l'an 2000.

Depuis 1960, la S.S.B. a démontré que l'on peut améliorer un réseau de tramways, passer d'un projet de métro (véhicule de 2,90m de large sur voie normale) à un projet de métro léger (véhicule de 2,65m de large sur voie normale), réaliser les différentes phases de mise en souterrain des voies dans le centre-ville ou la mise en site indépendant des voies de surface en périphérie, sans interrompre l'exploitation des différentes lignes du réseau.

.../

Après une exploitation préliminaire mixte (anciens véhicules à écartement métrique et nouveaux véhicules), 3 lignes (3, 1, 14) soit plus de 35 km, seront exploitées par le métro léger en 1986, l'étape suivante en 1989 étant l'exploitation des lignes 6, 5 et 15, soit plus de 45 km.

Créé en 1962, le Syndicat des Transports de la Région de STUTTGART (S.V.V.), après la mise en service du chemin de fer régional (S-BAHN) en 1978, voit ses efforts concrétisés avec la mise en service du métro léger.

IV - BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Le Ferrovie Urbane : Realizzazione Per Fasi
par Mario DEL VISCOVO
Revue du Centro Studi Sui Sistemi Di Trasporto Quaderno - n° 10 - Septembre 1975
- (2) "Stadtbahn Stuttgart," Stuttgart-Zentrum Des "Mittleren Neckarraums"
par la S.S.B.
- (3) Etude des transports intermédiaires en site propre
par la Direction des Etudes Générales - Février 1982
Revue R.A.T.P.
- (4) Le métro léger - Un système de transport de l'avenir
par G. GROCHE, Dr Ing. Vorst S.S.B. Stuttgart
Revue U.I.T.P. - 43ème Congrès International Helsinki 1979 - Rapport n° 8.
- (5) La place des métros et des autres modes de transports sur rail pour
satisfaire les besoins de transports des grandes villes
Revue U.I.T.P. 42ème Congrès Montréal 1977 - Rapport n° 3a.
- (6) Daten, Zahlen, Leistungen - 1983 -
par la S.S.B.
- (7) Verkehrs - Und Tarifverbund Stuttgart Gmbh
par la V.V.S.
- (8) Stadtbahn - Doppeltriebwagen, Typ Stuttgart, Für Hohe Beförderungsleistungen
Bei Schwieriger Topographie
par Hermann BOSCH et Heiner GATHMANN
Revue Elektrische Bahnen EB - Janvier 1985
- (9) Light Rail Train DT8 - Documentation Düwag
- (10) Roof - Mounted Package Unit For Air-Conditioning Of Light Rail Vehicles
Revue Brown, Boveri and Cie



- (11) Tramways Of Western Germany
par M. PAGEL et M.R. TAPLIN
Revue L.R.T.A.

- (12) Les tramways en R.F.A.
par Daniel DEJEAN et Michel CASTELAIN
Revue SODETRANS

- (13) Stadtbahn Nach Degerloch : Bopser - Waldau - Albplatz
par Jürgen MEISSNER
Revue BEILAGE DES AMTSBLATTS DER STADT STUTTGART

- (14) Das Stadtbahnnetz In Stuttgart
par Reg. Baum. BONZ et Ing. Grad. PRELL (Stuttgart)
Revue VERKEHR UND TECHNIK - Mars 1980.

- (15) Die Neuen Stadtbahnstrecken In Stuttgart Und Ihre Auswirkungen
par S.L.B.
Revue DER STADTVERKEHR - Mai-Juin 1976

- (16) Die Warnung Kommt Per Funk
Revue VERBUND VVS MAGAZIN - 21 Septembre 1984.

- (17) 20 Jahre Stadtbahnbau Stuttgart
par S.S.B.

- (18) Die Electricischen Anlagen Der Stuttgarter Stadtbahn
par Manfred BONZ et Friedrich MÜLLER (Stuttgart)
Revue ELEKTRISCHE BAHNEN EB - Janvier 1985.

- (19) Die Electricischen Anlagen In Den Tunnelstrecken Der Stuttgarter
Strassenbahnen
par F. MÜLLER
Revue ELECTRICHE BAHNEN EB - Avril 1973.

- (20) Insertion et réalisation de l'infrastructure des métros légers dans le tissu urbain
par M. BONZ Reg. Baum, Technisches Vorstandsmitglied S.S.B.
Revue U.I.T.P. - 45ème Congrès International Rio de Janeiro 1983 Rapport n°
- (21) Betriebsstrecken - U Linienlängen Auf Strassen u. Besonderem Bahnkörper
par S.S.B.
Statistik (Blatt 3).
- (22) Stadtbahn Aktuell
Revue ÜBER BERG UND TAL - Janvier 1985 - S.S.B. -
- (23) La Metropolitana Leggera Nel Tessuto Urbano Della Citta
par M. BONZ, S.S.B.
Revue TRASPORTI 5.
- (24) Abstellhalle Für 40 DT8 - Umbau In Vollem Gange
par la S.S.B.
Revue ÜBER BERG UND TAL - Janvier 1984.
- (25) S.S.B. - Hauptwerkstatt Für Stadtbahnwagen Gerüstet
par S.S.B.
Revue ÜBER BERG UND TAL - Février 1982
- (26) Ein Doppeltriebwagen Für Stuttgarts Stadtbahn
par M. BONZ et Klaus-Dieter LOHRMANN
Revue DER NAHVERKEHR - Juin 1983.

