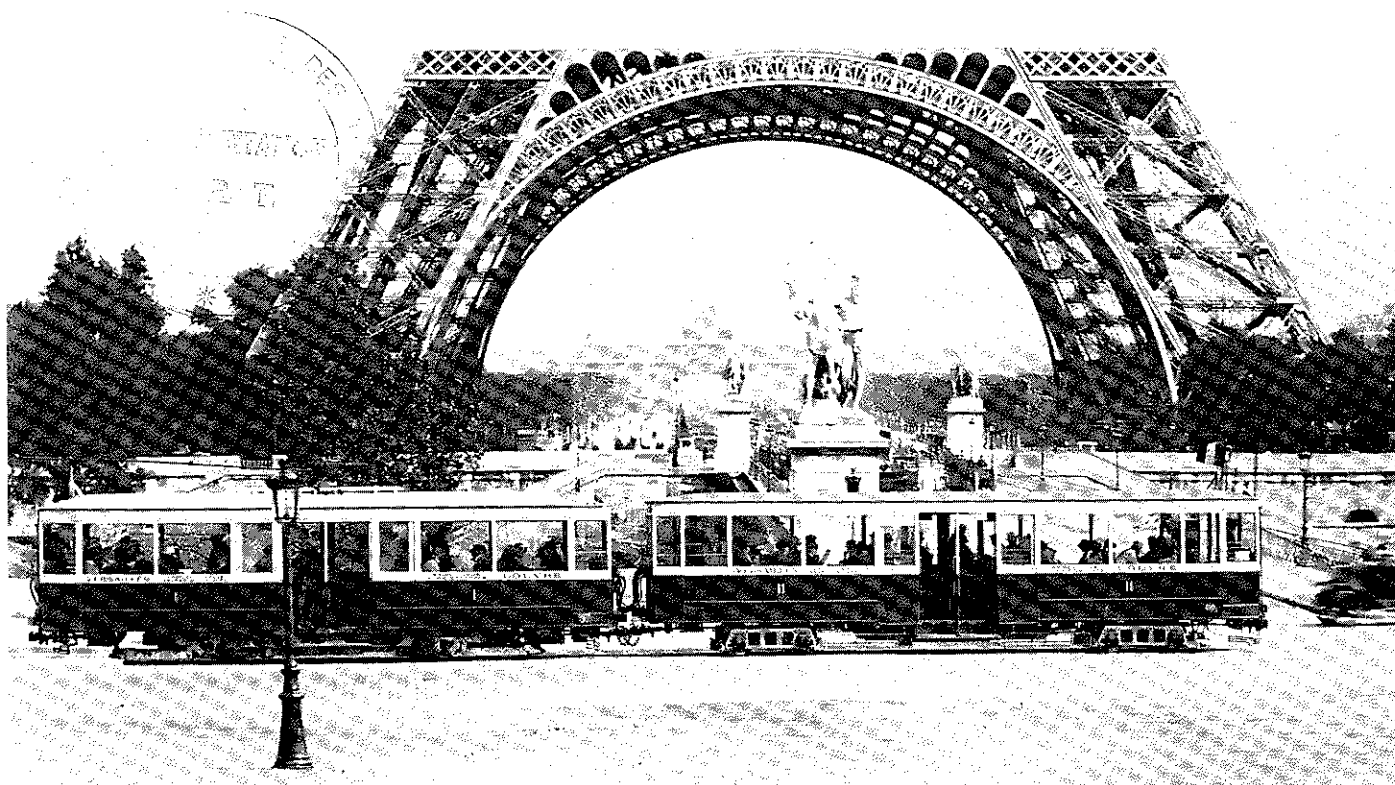


# du tramway au métro léger

**Patrice  
Malterre**

LS92





Les recherches sur l'allègement entreprises par la STCRP avec l'introduction de solutions dérivant de l'automobile, ont été menées sans modifier le diagramme général de ces rames (type Gs1 - As1) construites en 1921 et dérivant d'un modèle confortable et réussi datant de 1912 (type G de la Cie Générale des Omnibus) ; ce fut le point de départ de l'évolution vers le tramway moderne. Collection Gache.

## DU TRAMWAY AU MÉTRO LÉGER

*par Patrice Malterre*

Co-gérant de la Société METRAM. Chargé de mission à la Société Centrale pour l'Équipement du Territoire.

Il y a une cinquantaine d'années, le tramway avait à peu près le monopole des transports urbains puisque le développement industriel de l'autobus et de l'automobile particulière ne faisait que commencer. C'était le maître de la voie publique sur laquelle évoluaient des rames de capacité et de performances très modestes selon les critères actuels.

Concurrencé durement par l'autobus, par le métro dans les plus grandes agglomérations, menacé d'asphyxie par la prolifération de l'automobile, le tramway ainsi décrit a disparu partout sauf là où il a pu s'adapter par une profonde mutation.

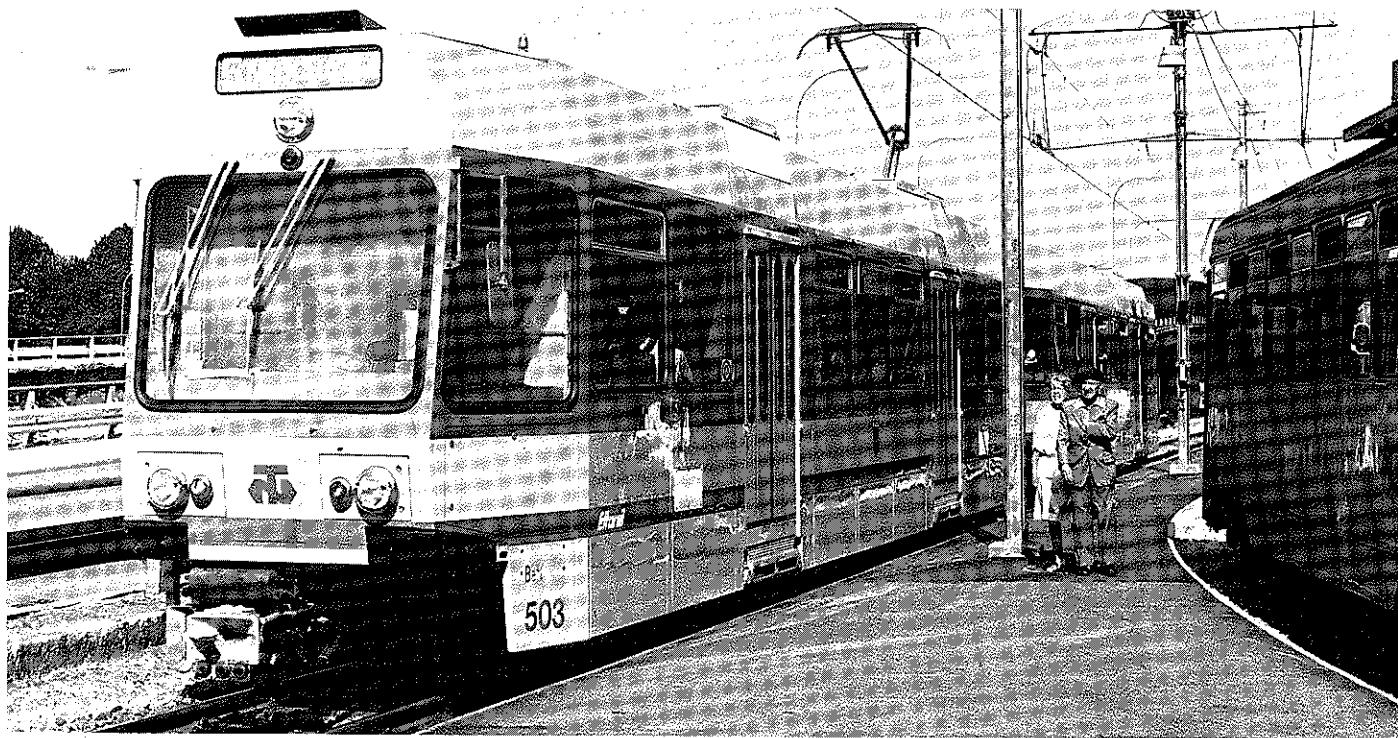
Le tramway ne peut subsister que s'il évolue dans une organisation de circulation délibérément favorable ou s'il est séparé de cette circulation grâce à des sites protégés ou des sites propres efficaces et que s'il utilise à

plein ses atouts spécifiques : grande capacité de transport, bonnes performances, haute productivité.

Lorsque ces conditions sont réunies, il se révèle toujours, quelquefois sous l'appellation nouvelle de métro léger, comme un remarquable système de transport susceptible de fournir des prestations de haute qualité avec un bilan économique particulièrement favorable aussi bien par rapport à l'autobus que par rapport à un métro en site propre intégral. L'engorgement excessif de nombre de villes par la voiture particulière, la nécessité de préserver l'accessibilité de leur centre, l'évolution du contexte énergétique ont donné à cette solution un attrait nouveau. Non seulement les suppressions de réseaux sont-elles devenues fort rares (la dernière importante remonte à 1978, ce fut celle du réseau de Hambourg où le tramway a été remplacé par le développe-

ment du réseau de métro, selon une politique engagée depuis 1956 et parvenue depuis longtemps à un point de non-retour), mais la plupart des réseaux s'étendent et de nouveaux réseaux, dans des villes qui n'utilisaient que l'autobus, font leur apparition : Utrecht en Hollande, Nantes en France, Edmonton et Calgary au Canada, San Diego, Buffalo et Portland aux U.S.A., Newcastle en Grande-Bretagne, Tunis, Manille verront des « métros légers » fonctionner dans un proche avenir et tout laisse à penser que la liste va s'étendre.

Il apparaissait donc fort intéressant d'examiner dans cette note les étapes les plus marquantes de l'évolution d'un système de transport qui connaît une résurgence tout à fait remarquable, au point de renaître de ses cendres là où on l'avait banni. On s'attachera plus particulièrement à l'aspect technique de cette évolution.



L'un des tout derniers matériels livrés en Europe : Les nouveaux tramways de Neuchâtel. C'est un bel exemple de la nouvelle « école suisse » dans ce domaine.

J.M. Frybourg.

Le glissement progressif du tramway traditionnel vers le métro léger s'est caractérisé sur le plan technique par les changements suivants :

- pour le matériel, accroissement quasi-continu des performances et de la capacité de transport ;

- pour les installations fixes, par un recours sans cesse accru aux techniques ferroviaires (voies en site propre, lignes aériennes, signalisation, etc.) au détriment des errements « routiers » liés à la circulation en site banal.

Le matériel roulant européen des années vingt à trente, puisque c'est à ce moment que l'on peut faire commencer, avec la concurrence nouvelle de l'autobus, le glissement du tramway dans cette nouvelle direction, se présentait sous forme de motrices et remorques à 2 essieux parallèles, dont la longueur excédait rarement 10 m et la largeur de 2,20 à 2,30 m et pour une forte proportion 2 m seulement. Ceci donnait des voitures dont la capacité unitaire restait de l'ordre de 40 à 50 places, dont une vingtaine assises.

Les motrices étaient pourvues de 2 moteurs de 20 à 30 kW de puissance unihoraire, commandés par un équipement à contrôleur direct donnant les couplages série et parallèle avec, dans les meilleurs cas, une quinzaine de crans. Seuls les moteurs les plus modernes étaient pourvus de pôles de commutation permettant le shuntage des inducteurs et le freinage rhéostatique en utilisation courante. Mais la plupart du temps, les voitures étaient freinées au seul frein à main (les remorques n'étant pas freinées du tout), et sur les réseaux

les plus performants on trouvait des freins à air comprimé ayant entre autres avantages celui de freiner tous les essieux de la rame, formée d'une motrice et d'une ou deux remorques selon le profil de la ligne.

Sur le plan mécanique, les moteurs étaient suspendus par le nez, martelant lourdement les voies. Les transmissions étaient à engrenages droits, souvent très bruyants. Les suspensions faisaient fréquemment appel à des trucks donnant plusieurs étages de ressorts à lames ou en hélice, toutes solutions lourdes avec de nombreux organes en frottement relatif. Enfin, les caisses étaient presque toujours construites en bois avec des assemblages par tenons et mortaises qui nécessitaient des reconstructions périodiques.

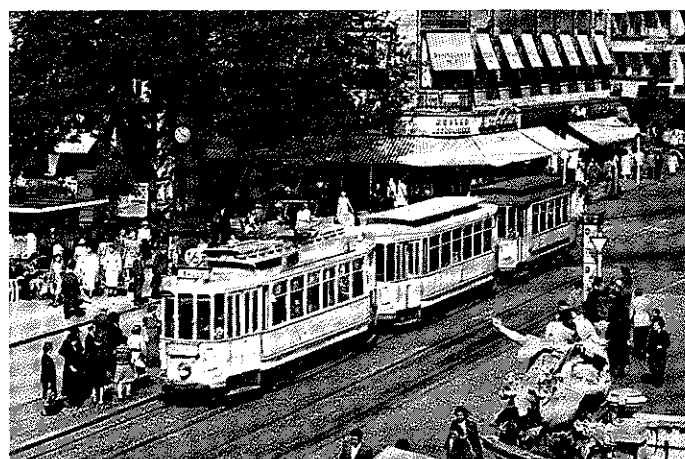
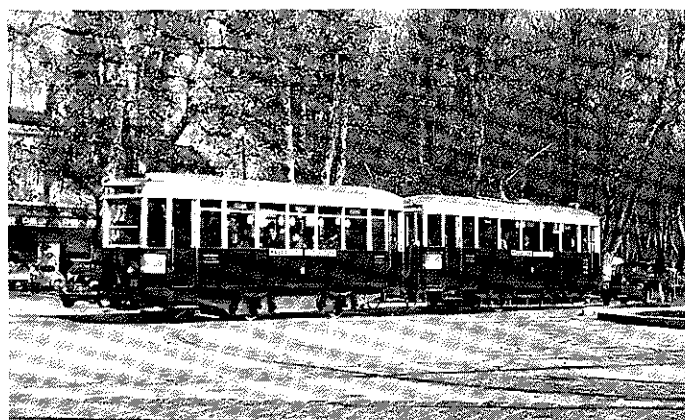
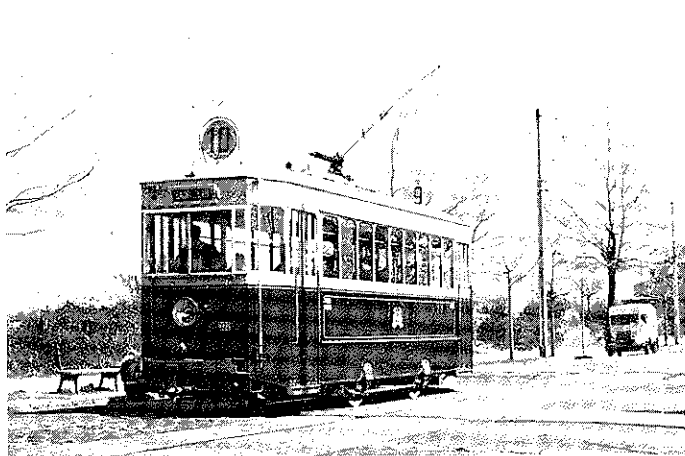
Les performances nous paraissent aujourd'hui très faibles, avec des accélérations ne dépassant guère 0,4 à 0,5 m/s<sup>2</sup> et des vitesses maximales de 30 à 35 km/h. Mais là au moins il faut être modeste : on réalisait souvent, quand même, des vitesses commerciales bien meilleures que celles relevées avec nos plus modernes autobus. Jamais le « 8 » Montrouge (Porte d'Orléans) - Gare de l'Est, devenu ensuite « 38 », n'a été aussi rapide qu'avec les rames électriques de la Compagnie Générale des Omnibus construites en 1912, ne disposant pourtant que de 3,2 kW par tonne de tare...

A présent, les villes restées - ou redevenues - adeptes du tramway ou métro léger, peuvent disposer de rames articulées à bogies, de 200 places et plus, d'une puissance de 400 kW, bardées d'électronique, utilisant au mieux

l'énergie, offrant dans un silence de marche remarquable des performances brillantes permises par leurs 10 à 15 kW installés par tonne de tare, et permises aussi par le site propre ou le site protégé qui a le plus souvent remplacé la voie en site banal. Mais, en raison du coût d'investissement et de fonctionnement du système, on ne les trouve plus que sur les axes les plus chargés du réseau, autobus ou trolleybus ayant pris le relais sur toutes les autres lignes.

Indiquer au lecteur intéressé quelles ont été, à notre avis, les étapes marquantes de cette mutation, en choisissant pour cela non pas d'évoquer des prototypes parfois très brillants mais restés sans lendemain, mais les matériels livrés en séries importantes et ayant marqué leur époque, tel est l'objectif des chapitres suivants de cette note. Nous avons, un peu arbitrairement peut-être, fait commencer cette évolution avec la motrice parisienne dite « L », qui fut célèbre en son temps ; ses concepteurs, de surcroît, avaient fort bien pressenti que sans un effort de renouveau total, allant dans le sens de la séparation des trafics, de l'acquisition de voitures à grande capacité, en un mot d'un rendement accru, le tramway traditionnel ne pourrait survivre à la concurrence de l'autobus...





L'expérience des motrices les plus modernes apparues dans les années vingt et trente ne fut pas prise en compte dans ces matériels français entrés en exploitation au milieu des années trente :

En haut à gauche, une motrice de Bordeaux, vue en 1955 sur les Boulevards : matériel déjà moderne par sa caisse métallique, ses larges accès, ses boîtes d'essieux Isothermos, son emploi systématique du frein rhéostatique, mais pêchant par le réemploi de trucks Brill hors d'âge et par un équipement électrique trop fruste (4 crans de frein seulement...).

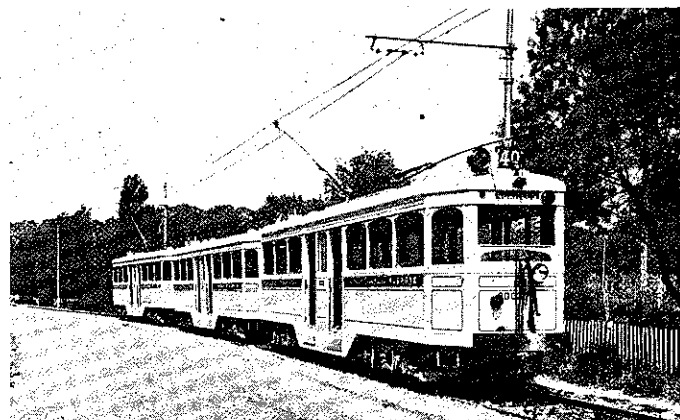
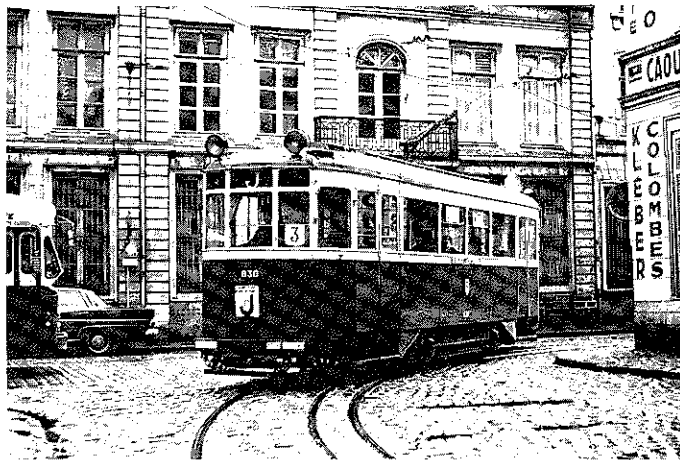
P. Malterre.

En haut à droite, une motrice de Lille, vue en 1965 peu avant la disparition d'un réseau qui fut l'un des meilleurs. Construction classique mais de bonne facture, équipement électrique très soigné avec frein électrique de service, trucks bien étudiés donnant un bon roulement, accès bien disposés ; ces très bonnes voitures auraient pu attendre sans trop de difficultés l'arrivée du matériel moderne, si la suppression du réseau n'avait été décidée dès 1955.

P. Malterre.

Au centre à gauche, une rame réversible de Marseille. Livrée au début des années 30 (et vue en 1954 au Rond-Point du Prado), elle avait déjà deux générations de retard / caisse en bois aux accès étroits, capacité insuffisante, suspension sommaire, équipement électrique du début du siècle. L'autobus ne pouvait que remporter une facile victoire...

P. Malterre.



Au centre à droite : Les matériels à bogies plus confortables, souffraient de leur poids et de leurs performances insuffisantes. Ici une rame « Franco-Belge » de la ligne d'Aubagne livrée à Marseille en 1928, sous-motorisée, ne pouvait sur les lignes de banlieue où elle devait rouler se mesurer à l'autobus plus rapide et d'exploitation moins coûteuse.

RATVM.

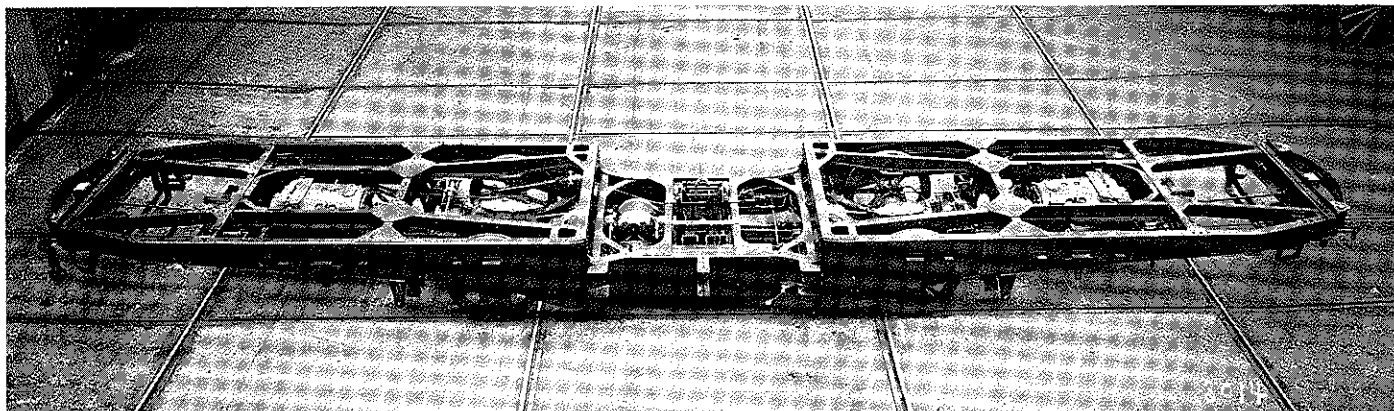
En bas à gauche : Les réseaux allemands, comme leurs homologues français en restèrent au matériel à 2 essieux, mais utilisèrent de préférence des rames de 3 voitures, chaque motrice tirant 2 remorques. Cela nécessita l'adoption de moteurs plus puissants, d'équipements plus fiables et de systèmes de freins — excluant en général l'air comprimé — actifs sur tout le train, mais procura une meilleure productivité. Ici, au début des années soixante, une rame de Düsseldorf datant des années 20 traverse la Königsallee.

Collection P. Malterre.

Contrastant avec ces matériels anciens, une motrice « Stadtbahn » N 8 de Dortmund, vue en 1981 devant la gare centrale, illustre les progrès accomplis dans une évolution dont les points saillants sont repris dans l'étude ci-après. La photo fait apparaître les lignes nettes de l'engin, sa forte capacité et montre le site propre sur lequel il roule ; elle ne peut donner une idée de la douceur de la suspension et du silence de fonctionnement contribuant à donner au transport public ses chances face à l'automobile particulière.

G. Muller.





Vue du châssis de la motrice L montrant la disposition des organes. On remarque de gauche à droite :

- un moteur de traction avec son flector,
- un tambour de frein enserrant en son centre un autre flector,
- un essieu avec son pont,
- le compresseur,
- au centre de la plate-forme la « charrue » pour captation d'énergie par caniveau. Le frotteur de charrue était double : une face réunie au rail 600 V, l'autre face isolée de la première réunie au pôle négatif.

## MATÉRIEL ROULANT

### La S.T.C.R.P. et la presque-apparition du tramway moderne

Il serait, nous semble-t-il, difficile de contester que la motrice type L de la Société des Transports en Commun de la Région Parisienne, apparue en 1922, fut la première voiture construite en quantité importante qui ait rompu avec les errements techniques en usage depuis la mise au point du tramway électrique.

Le but recherché par l'équipe des ingénieurs de la S.T.C.R.P., menée par Louis Bacqueyrisse, Directeur Général des Services Techniques et de l'Exploitation, et Jean Castaing, Ingénieur en Chef du Matériel Roulant, était d'alléger la voiture afin de réduire sa consommation d'énergie et les frais d'entretien des voies. Les concepts d'exploitation,

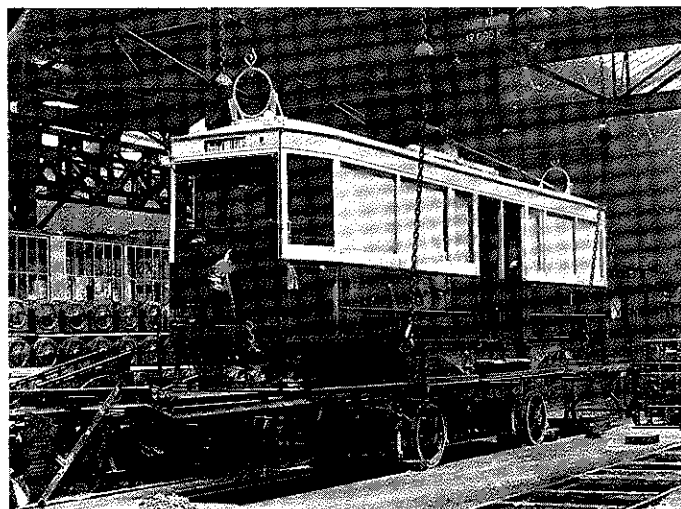
eux-mêmes découlant d'une réglementation fort contraignante, ne pouvaient être remis en cause : il s'agissait de créer une voiture longue de 11,5 m, au gabarit de 2,00 m, offrant 49 places dont 30 assises, à 2 agents, susceptible d'être attelée à une remorque offrant 58 places et destinée à circuler à une vitesse maximale fixée réglementairement à 30 km/h.

Le mérite des inventeurs de la motrice L ne fut pas mince de remettre totalement en cause des solutions techniques qu'ils avaient eux-mêmes développées avec succès sur 500 voitures qu'ils venaient de construire. Ils empruntèrent à la technique automobile le principe d'une motrice sans truck indépendant de la caisse, avec une transmission par ponts, arbres à flectors et moteurs suspendus longitudinalement sous la caisse, des freins à tambours calés sur l'arbre de transmission - cette seule disposition faisant gagner 1,5 tonne par rapport au classique frein à sabots sur bandages -, et une suspension comportant des essieux guidés sans jeu, mais avec une élasticité transversale contrôlée.

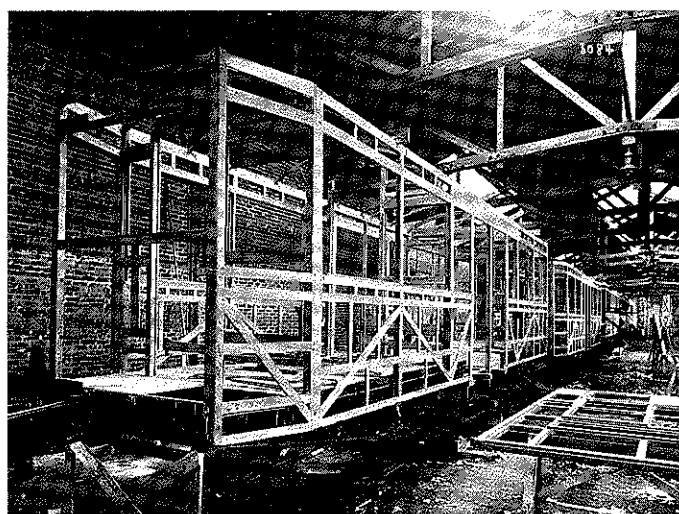
C'est peu dire, qu'en 1922, ces dispositions paraissaient révolutionnaires, surtout étant d'emblée appliquées à une série de 475 voitures, ce qui interdisait l'échec. Mais la technologie de l'époque était à peine à hauteur de ces ambitions et les déboires furent graves et nombreux : rupture de pièces de suspension, fragilité des ponts moteurs, affaissements d'un châssis dont la plate-forme centrale surbaissée ne favorisait pas la tenue, etc. Il est probable qu'un réseau n'ayant pas le potentiel de la S.T.C.R.P. et la pugnacité de ses dirigeants n'aurait pu surmonter ces difficultés.

Non seulement la S.T.C.R.P. y parvint - certes en partie au détriment de l'allègement recherché -, mais encore elle a ajouté nombre d'innovations dans le cours de la carrière de ce matériel. Ainsi, le freinage électrique par récupération d'énergie obtenu par la transformation des moteurs à excitation série en moteurs à excitation compound. Là aussi les déboires furent sérieux ; pour éviter les problèmes de changement de couplage de moteurs

Motrice L au levage à l'Atelier Central, rue Championnet. On remarque l'accumulation de moteurs à l'arrière-plan. Collection RATP - (J. Robert).



Construction des carrosseries des motrices L à l'Atelier Central. C'était, on le voit, un travail considérable de menuiserie. Collection RATP - (J. Robert).





L'une des premières motrices L face à l'ancien Palais du Trocadéro. Au centre de la plate-forme on remarque le coffrage de protection de la « charrue ». Ce système de captation d'énergie, cause d'innombrables pannes, a contribué à la disparition des tramways parisiens. Aucun réseau n'y a maintenant recours. Collection RATP - (A. Gache).

compound, difficilement maîtrisables, les deux moteurs restaient, dans un premier type d'équipement, en permanence en série. La perte de puissance qui en résultait obligea d'une part à modifier le rapport de transmission, d'autre part à accepter des intensités plus élevées, en rebobinant les moteurs avec - déjà - du fil à section carrée ; mais alors les échauffements posaient de sérieux problèmes compte tenu des performances limitées des isolants de l'époque, à base de coton le plus souvent.

Mais l'équipe Bacqueyrisse - Castaing était tenace. Elle développa un nouveau type d'équipement dans lequel le réglage de l'excitation shunt des deux moteurs - et donc le freinage par récupération - ne se faisait que lorsqu'ils étaient couplés en série ; le couplage parallèle était rétabli, mais alors les moteurs ne fonctionnaient qu'en excitation série normale, avec crans de shuntage. Cette fois, c'était le succès et les 113 motrices L ainsi modifiées parcoururent, de 1933 à 1936, 12 millions de kilomètres sans problème. La transformation de l'équipement et des moteurs était amortie en un an environ, grâce à l'économie d'énergie de 25 % ; la consommation, mesurée sur une moyenne de 9 millions de voitures-kilomètre était ramenée de 60 watts-heure/tonne-kilomètre à 45 Wh/tk. La vitesse commerciale n'était pas modifiée et atteignait, sur une ligne de banlieue (Porte Maillot - Saint-Germain), avec des arrêts distants de 350 m en moyenne, le chiffre qui nous paraît encore aujourd'hui remarquable - la ligne n'étant pas partout en site protégé - de 19,5 km/h.

De plus, cet équipement procurait une souplesse de marche très appréciée et limitait à un minimum l'usure des freins mécaniques qui ne servaient plus qu'à l'immobilisation de la motrice en-dessous de 8 km/h. En cas de raté de freinage par récupération (pas de consommateur en ligne, saut de perche, etc.), l'énergie était absorbée dans une résistance embarquée, la commutation du freinage étant automatiquement faite sans que le conducteur en soit même averti, à l'image de ce qui se fera près d'un demi-siècle plus tard sur les équipements à thyristors.

On pourra penser que le temps enjôle l'affaire ; mais l'auteur de ces lignes peut témoigner d'avoir vu dans son adolescence fonctionner à la perfection cet équipement, non pas à Paris, mais sur les motrices « SATRAMO » de Toulouse (dont le réseau était avant-guerre une filiale de la S.T.C.R.P.), construites en 1933 sur plans parisiens, et qui ont roulé jusqu'en 1956.

D'autres perfectionnements furent essayés sur les motrices L, par exemple un équipement de démarrage automatique avec contacteurs vibrants construit en liaison avec la Télémechanique, ceci afin de réaliser des rames de

grande capacité avec 2 ou 3 motrices accouplées (1). Louis Bacqueyrisse développa aussi un type de roue élastique qui donna, de 1932 à 1937, d'excellents résultats sur les 3 voitures qui en furent équipées. Tout cela préparait le matériel futur.

Publicité Alsthom de 1930. La motrice L est vue Avenue de Friedland, à proximité de l'Étoile. On devine au fond une motrice B à bogies « maximum traction ».

Photo Alsthom - Archives P. Malterre.

950 MOTEURS AUTOVENTILES TH 563  
950 CONTRÔLEURS B. 350 X  
ONT ÉTÉ LIVRÉS EN 1924-1925 À LA  
SOCIÉTÉ DES T.C.R.P. POUR SES  
MOTRICES LÉGÈRES  
LE TYPE LE PLUS MODERNE DE VOITURE DE TRAMWAY

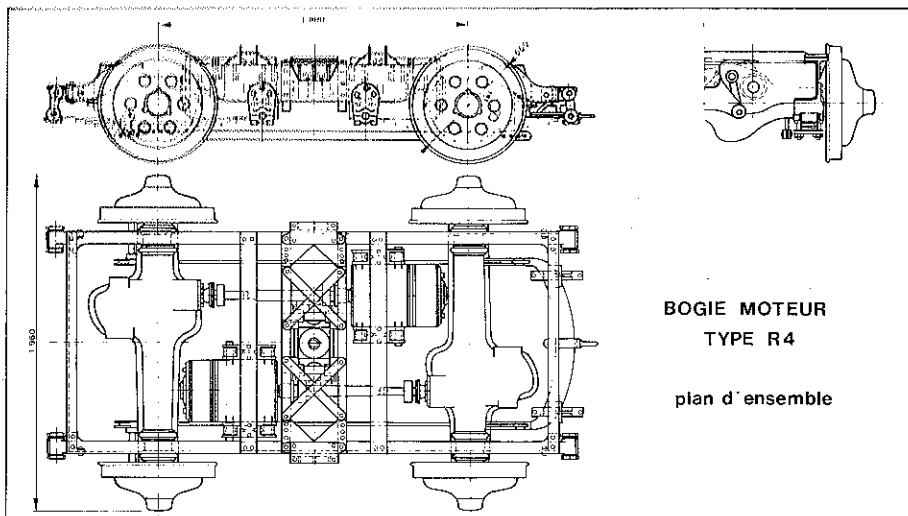
215 MOTEURS TH 558 750 VOLTS  
215 CONTRÔLEURS K. 36. 2. LIVRÉS OU EN  
COURS DE LIVRAISON À LA SOCIÉTÉ DES  
TRAMWAYS DE BUCAREST  
POUR LA MODERNISATION DE SON MATÉRIEL ROLLANT

PLUS DE 20.000 MOTEURS DE TRACTION  
ET PLUS DE 10.000 ÉQUIPEMENTS  
POUR CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS  
ONT ÉTÉ LIVRÉS À CE JOUR PAR LA

**SOCIÉTÉ GÉNÉRALE  
DE CONSTRUCTIONS  
ÉLECTRIQUES & MÉCANIQUES  
(ALSTHOM)**

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 100.000.000 FR.  
SIÈGE SOCIAL : 146, AVENUE DES CHAMPS-ÉLYSÉES - PARIS 8<sup>e</sup>  
SERVICE COMMERCIAL : 172, BOULEVARD HAUSMANN - PARIS 17<sup>e</sup>  
ADRESSE TÉLÉGR. : ALSTHOM-2 PARIS - TÉLÉPHONE : LYREX 8326 A 8379  
R. C. S. SEIN 218108

(1) Des équipements semblables ont été essayés de 1945 à 1949 sur la motrice de « 2e série » Z 23036 à 750V de la région Ouest et sur les motrices M 1300 et 1301 de la RATP. La complication ainsi introduite ne fut pas suffisamment compensée par les gains en énergie pour persévérer dans cette voie difficile.



**BOGIE MOTEUR  
TYPE R4**

plan d'ensemble

Vue d'un bogie étudié en 1931 par la SCEMIA et la STCRP pour les 600 motrices alors prévues. On relèvera la transmission par arbre à cardans et ponts à double démultiplication dont les carters enveloppent totalement l'essieu, les roues avec freins à tambours incorporés, la suspension primaire avec jumelles élastiques donnant une souplesse latérale, le montage sur bielles pendulaires de la traverse danseuse et, d'une façon générale, la similitude générale de l'architecture avec celle du bogie PCC apparu 4 ans plus tard.

D'après plan SCEMIA, Archives G. Muller.

Il serait particulièrement injuste de ne pas créditer les dirigeants de la S.T.C.R.P. des efforts déployés pour modifier et assouplir la réglementation qui enfermait les tramways parisiens dans un carcan, qu'il s'agisse de la vitesse maximale - heureusement largement dépassée en pratique -, du gabarit étroit, de l'obligation du caniveau d'alimentation en de nombreuses artères, etc., réglementation empêchant le système de jouer pleinement son rôle de transport rapide à grande capacité. S'il n'est pas inutile de rappeler que, dès 1931, la S.T.C.R.P. exploitait plusieurs lignes avec des motrices à un seul agent, munies de portes commandées par marchepieds sensibles (dispositif qui vient de faire sa réapparition sur les autobus de la R.A.T.P.), il est essentiel de souligner que les dirigeants de la S.T.C.R.P. avaient placé l'avenir du tramway sur les plus fortes lignes ; ils préparaient alors un matériel à grande capacité (motrices et remorques à bogies, longues de 14 m), reprenant l'essentiel des solutions techniques mises au point avec la motrice L.

L'architecture du bogie, développée par la S.C.E.M.I.A., était notablement en avance sur son temps : moteurs entièrement suspendus, transmission par arbres à cardans et ponts à double démultiplication, freins à tambours, suspension primaire avec élasticité transversale contrôlée et guidage des essieux sans jeu. La motrice devait être pourvue de 4 moteurs compound auto-ventilés d'une puissance unitaire de 45 kW, d'étude Alsthom, et d'un équipement de démarrage automatique à contacteurs permettant bien entendu le freinage par récupération entre la vitesse maximale théorique de 45 km/h et 10 km/h. La motrice abandonnait le diagramme désuet de la plate-forme centrale, était prévue avec des doubles portes à chaque plate-forme et pouvait être exploitée à un ou deux agents et circuler avec une remorque-pilote formant un train réversible.

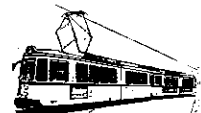
Toutes ces idées feront leur chemin et on les retrouvera sur d'autres matériels, parfois après une longue éclipse. Ainsi, le freinage par

récupération disparaîtra pour un demi-siècle : la part de l'énergie dans les frais d'exploitation des réseaux, dont plusieurs étaient producteurs d'électricité, était trop faible pour justifier de s'attaquer aux difficultés que seule, ou presque, la S.T.C.R.P. avait surmontées : la disparition du leader de cette technique, la tendance naturelle au conservatisme allaient faire tomber dans l'oubli les travaux de Bacqueyrisse et Castaing, d'où viennent de les sortir le nouveau contexte énergétique et l'apparition d'équipements à thyristors ouvrant des possibilités que les ingénieurs de 1930 ne pouvaient soupçonner.

Bien entendu, la décision de supprimer totalement le réseau de tramways, prise en 1932 par le Département de la Seine sous la pression d'un lobby automobile qui assurément voyait loin, arrêta net l'activité débordante de la S.T.C.R.P. On se rend compte, avec le recul du temps, qu'elle était en train d'enfanter le tramway moderne : il fallait l'étouffer dans l'œuf.

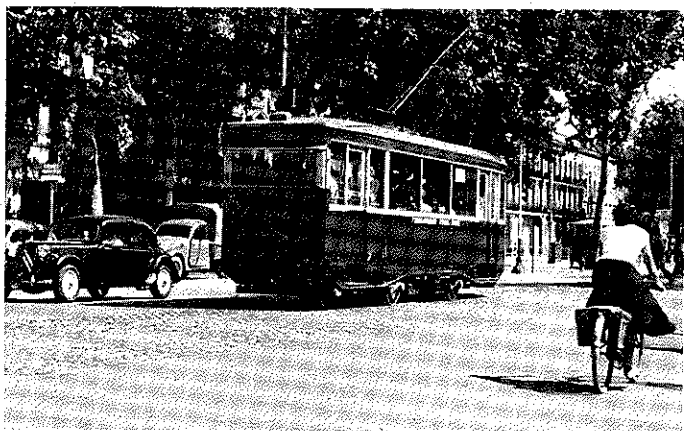
La suite de l'histoire est connue : la reconversion des bureaux d'étude de la S.T.C.R.P. à l'autobus fut plutôt manquée car le réseau parisien se caractérisa bien longtemps par un immobilisme qui ne lui a fait adopter, qu'avec un retard considérable, nombre de dispositifs d'exploitation et de solutions techniques apparus sur les réseaux provinciaux. Quant à l'école française du tramway, elle fut tuée du même coup et les réseaux de province ne purent plus que se préparer à suivre l'exemple de Paris.

Ainsi, et ce fut assurément le plus grave, fut concrétisée la dictature de l'automobile dans l'organisation de la circulation et le développement de l'urbanisme. Cinquante ans plus tard, nous en sommes encore là et nous n'avons pas fini de payer les conséquences de la fâcheuse décision du département de la Seine. Mais au moins qu'il soit rendu justice aux hommes qui avaient pressenti tout cela à l'époque...



Une motrice Satramo de Toulouse, construite en 1931 à 10 exemplaires, vue en 1955. Ces voitures reprenaient les solutions étudiées par la STCRP pour son matériel à bogies : équipement à récupération type L, ponts SCEMIA, freins à tambours, caisse métallique pour l'exploitation à un ou deux agents, etc.

P. Malterre.



Quelques motrices L avaient été rachetées par les Tramways de Rouen. En voici une, peu avant la suppression totale du réseau, photographiée en octobre 1950 à Maromme. La cassure bien visible de la caisse a toujours constitué un défaut du type L, aggravé ici par les surcharges et le manque d'entretien.

Schnabel.



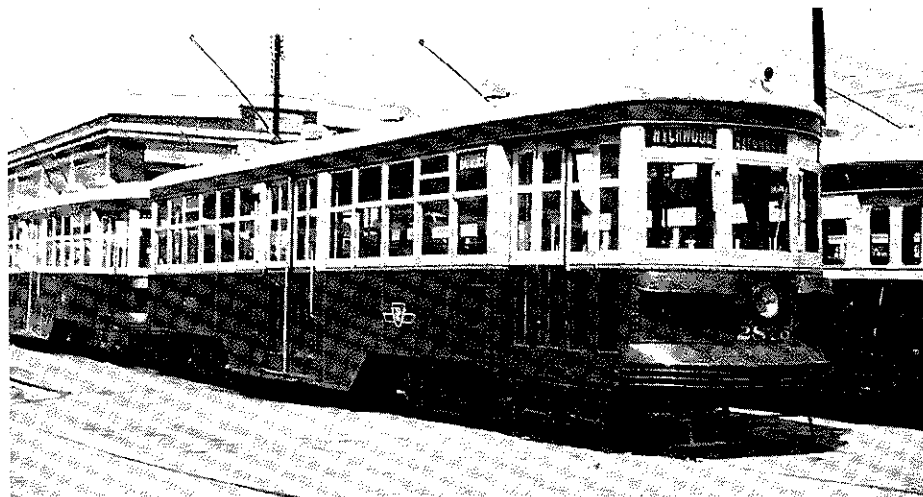
Depuis ce que l'on pourrait appeler, en usant anachroniquement d'un terme aéronautique, la « certification » du tramway électrique, obtenue en 1888, non sans surmonter d'innombrables difficultés, par Frank Sprague lorsqu'il fit fonctionner en service commercial le réseau de Richmond (Virginie, Etats-Unis), l'allure générale des véhicules n'avait pas beaucoup changé malgré les considérables progrès accomplis au tournant du siècle. Le tramway se présentait sous forme de petites voitures à deux essieux parallèles, groupables sur les lignes à profil facile en rames d'une motrice et une ou deux remorques, pouvant offrir au total jusqu'à 150 places pour 4 agents par train.

Les inconvénients de cette formule - qui devait rester très longtemps en faveur dans plusieurs pays dont l'Allemagne - appaurent vite aux Etats-Unis, où les dirigeants de réseaux se souciaient déjà beaucoup de rendement et de productivité. Ils constatèrent que le meilleur moyen d'améliorer les bilans était, d'une part d'accroître la vitesse commerciale grâce à des engins performants et, d'autre part de diminuer le nombre d'agents par place offerte grâce à des véhicules de forte capacité unitaire : il va de soi que, trois quarts de siècle plus tard, ces recettes restent toujours valables.

Pour ce faire, ils se tournèrent vers des motrices à bogies offrant une centaine de places pour deux agents, circulant sans remorque et capables, grâce à l'adhérence totale (motorisation des quatre essieux), de brillantes accélérations. Toutefois, la forte capacité posait un problème sérieux : le receveur ambulant n'arrivait plus, aux heures de charge, à servir toute la clientèle, d'où de fâcheuses pertes de recettes. Pour éviter cela, le Directeur du réseau de Cleveland, Peter Witt, eut, en 1915, l'idée d'installer le receveur à poste fixe en obligeant les voyageurs à passer devant sa caisse, donc en affectant une porte à la montée et une autre à la descente. Après essais de diverses formules, Peter Witt fit monter les voyageurs par la porte avant, sous la surveillance du conducteur, installa le receveur au milieu de la voiture et à côté de lui la porte de descente, le fond de la voiture étant équipé en places assises pour les passagers faisant un long trajet.

Ce schéma ne pouvait convenablement fonctionner qu'avec un tarif unique, le receveur étant incapable de contrôler d'éventuels dépassements de section ou zone : très rapidement cette structure tarifaire devint la règle - elle l'est toujours - sur les réseaux américains.

Les conséquences sur le matériel roulant ne furent pas minimes : les aménagements prévus par Peter Witt ne pouvaient être rationnellement disposés que sur des voitures à sens unique de marche, avec un seul poste de conduite et un seul jeu de portes ; cette disposition obligea à reprendre tous les terminus pour y installer une boucle ou un triangle de retournement (appelé précisément « triangle



Deux motrices Peter Witt du réseau de Toronto qui en a compté plusieurs centaines. Les dernières voitures de ce type ont circulé en service commercial en 1956 et plusieurs sont conservées en état de marche pour des circulations spéciales à caractère historique.

De surcroît, il n'était plus possible de disposer dans la voiture les cloisons séparant habituellement les plates-formes du compartiment central : or, ces cloisons participaient à la résistance des caisses en bois de l'époque. Il fallut donc, pour conserver la rigidité et la solidité du matériel, passer, dès 1910, à la construction métallique, d'abord rivée puis soudée.

Enfin, la circulation des voyageurs dans la voiture rendait, pour des raisons de sécurité hautement recommandable, un plancher plat, sans marche intérieure. Pour cela, il fallait diminuer le diamètre des roues et surtout disposer de moteurs offrant la puissance nécessaire sous un volume restreint ; ceci fut obtenu grâce au refroidissement par auto-ventilation au lieu de la simple dissipation des calories par convection naturelle. On atteignit dès lors une cote de hauteur de plancher de l'ordre de 0,75 m, chiffre que l'augmentation de puissance et la complexité des équipements modernes ne permettent plus, cinquante ans plus tard, de respecter. . .

Des milliers de motrices Peter Witt furent construites aux Etats-Unis et au Canada entre 1915 et 1930, mais en Europe la formule n'eut pas d'écho jusqu'à ce que le réseau de Milan, confronté vers 1925 au problème du renouvellement urgent de l'ensemble de son parc, formé de petites voitures désuètes, ne s'y intéresse. Le Directeur d'Alo et l'Ingénieur en Chef Cuccioli firent le voyage aux U.S.A., revinrent conquis et commandèrent, en 1927, 2 motrices Peter Witt à l'industrie italienne.

Parallèlement, le réseau de Milan fit l'effort de réaligner toutes ses voies pour passer du gabarit 2,00 m - celui du réseau de Paris - au gabarit de 2,35 m, maximum compatible avec les caractéristiques de la voirie, afin d'avoir un véhicule aussi spacieux que possible. La Peter Witt milanaise se présentait sous la forme d'une voiture de construction métal-

lique, longue de 13,5 m, unidirectionnelle et avec deux portes, pourvue de 4 moteurs de 20 kW logés dans des bogies avec des roues dont le diamètre était de 680 mm seulement, autorisant un plancher haut de 0,74 m. Elle offrait 63 places debout et 47 places assises.

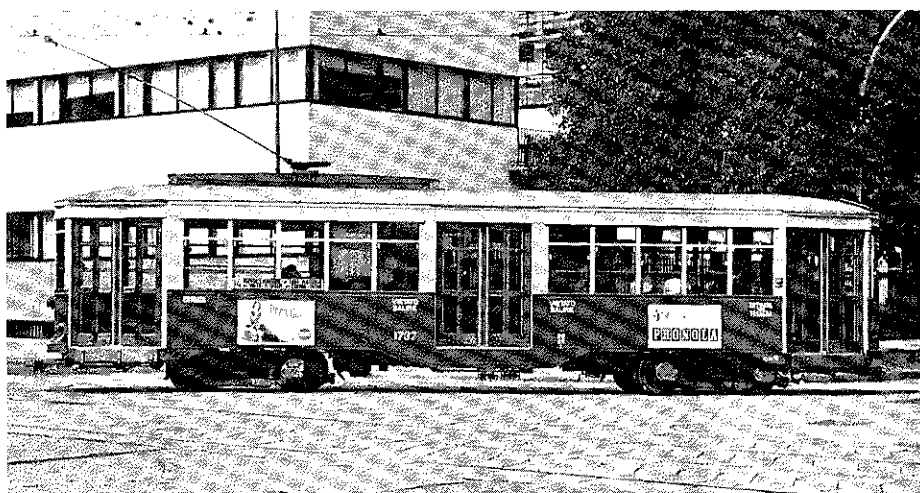
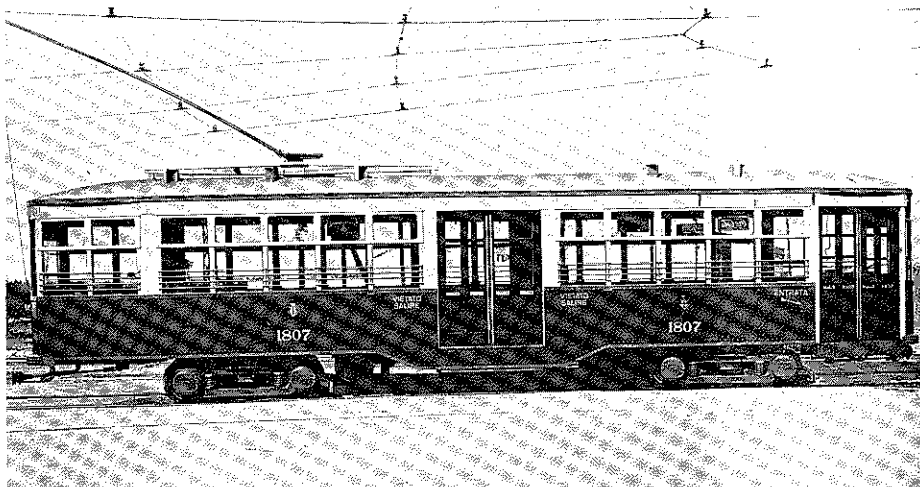
L'équipement électrique était classique, le frein de service étant à air comprimé. La tare était de 15 tonnes seulement.

Devant le succès immédiatement obtenu, une commande de 500 voitures supplémentaires identiques fut passée à l'industrie italienne qui les livra en 1929-1930. Cuccioli améliora le schéma Peter Witt en ajoutant en 1932 une petite porte de sortie, avec commande par marchepied sensible, à l'arrière de la voiture ; ceci supprima la réticence des voyageurs à se diriger vers le fond, inconvénient que l'on peut observer quotidiennement sur les autobus modernes dotés de deux portes seulement.

Toutefois en 1938, une décision du Gouvernement italien, unifiant pour toutes les villes un certain nombre de dispositions concernant les véhicules de transport public, obligea à transformer les motrices Peter Witt : la montée fut fixée à l'arrière (la porte étant élargie en conséquence), la porte médiane et la porte avant étant affectées à la descente. Le poste de receveur fut donc déplacé, mais les voitures continuèrent à porter le nom de Peter Witt, bien que la disposition générale en soit devenue différente. Le nombre de places assises tomba à 29, ce qui fit monter la capacité totale à 130 voyageurs.

94 voitures furent modernisées en 1950 grâce à un nouvel équipement électrique à démarrage automatique et au montage de roues élastiques pour remédier au roulement assez bruyant de ce matériel. Faute de financement, la transformation ne put être étendue à l'ensemble des 501 motrices ayant survécu aux hostilités. Finalement le freinage électropneumatique des voitures modifiées ne rencontra jamais l'adhésion des conducteurs et elles furent les premières réformées à partir de 1977.





L'évolution des motrices Peter Witt de Milan : en haut, la voiture dans son état d'origine avec 2 portes seulement.

(Photo BBC, archives Muller).

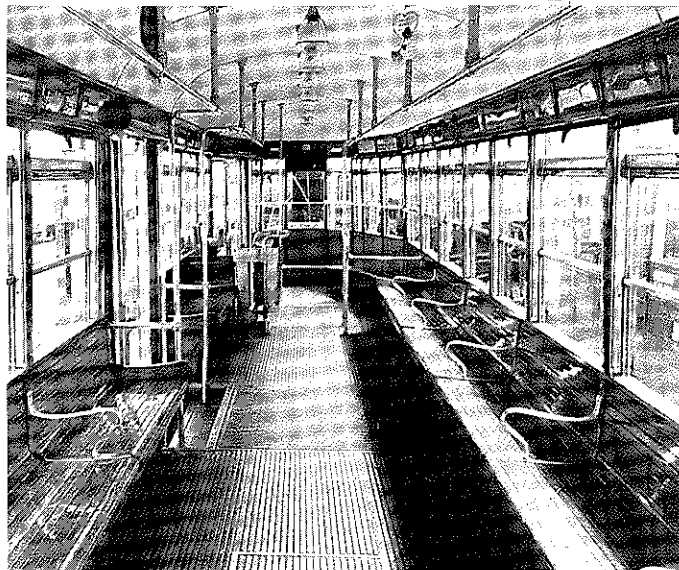
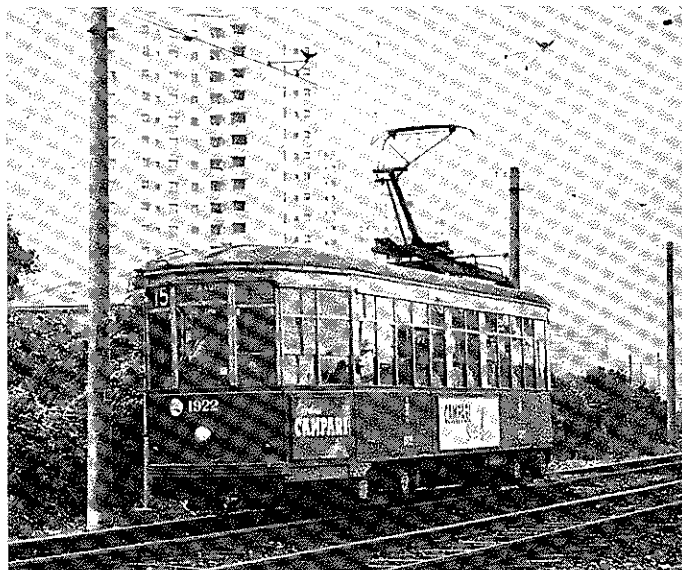
Au centre, la voiture dans son état postérieur à 1938 avec 3 larges portes.

En bas à gauche, une Peter Witt dans son état de 1975, convertie à l'exploitation à un agent, avec pantographe unijambiste, mais encore en livrée verte, vue sur une extension nouvelle du réseau.

On remarquera les bogies Pennsylvania à roues de petit diamètre, les boîtes d'essieux Isothermos et marche-pieds rabattables.

En bas à droite, intérieur d'une motrice Peter Witt de Milan dans son état actuel. Tout était conçu en vue d'une capacité maximale.

M. Mertens.



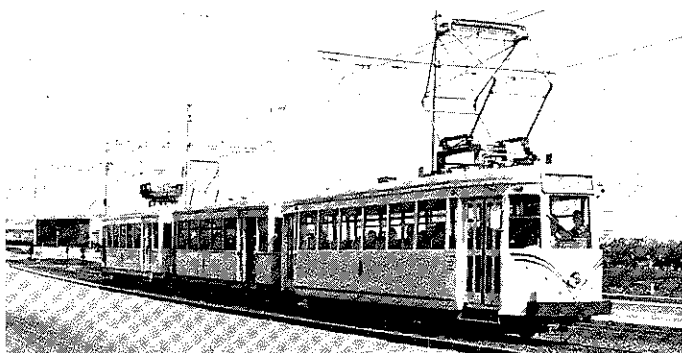
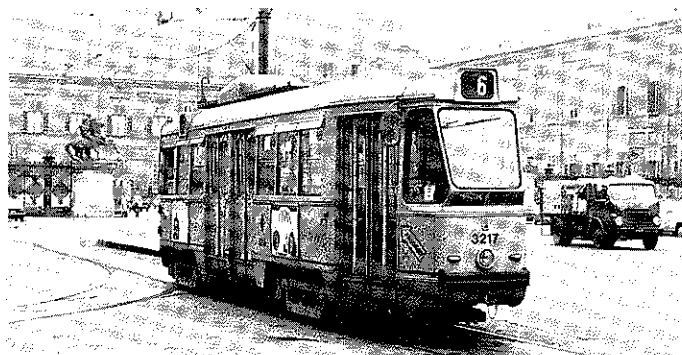
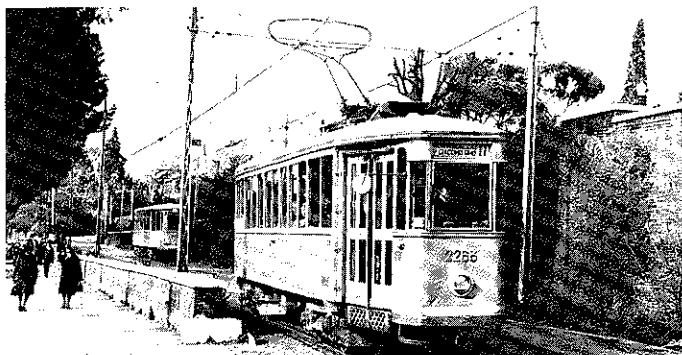
Enfin, à partir de 1970, les motrices Peter Witt furent converties à l'exploitation à un seul agent, le poste de receveur étant démonté et des oblitérateurs automatiques ajoutés. Cette transformation s'accompagna du remplacement de la perche à roulette par un pantographe moderne et de l'adoption de la nouvelle livrée orange standardisée sur l'ensemble des réseaux italiens.

Environ 350 motrices Peter Witt continuent en 1982 à assurer une part importante du service, une centaine ayant été réformée vers 1978 suite à la livraison de matériel articulé à très grande capacité (« Jumbo-trams ») et 50 mises en réserve stratégique. Cette longévité est, pour une part, représentative des difficultés éprouvées par le réseau de Milan à renouveler son parc, mais elle témoigne de l'exceptionnelle réussite d'un matériel qui, plus de cinquante ans après sa mise en service, assure dans des conditions encore acceptables de confort et de performances un service économiquement valable (un agent pour 125 places), à un coût d'entretien inférieur à celui des voitures plus récentes et plus sophistiquées. . .

Actuellement encore, les motrices Peter Witt reçoivent des perfectionnements de détail (radiotéléphone, chronotachygraphes, amélioration du poste de conduite, etc.) et leur reconstruction en motrices articulées, comme l'a fait Turin, n'est pas une éventualité à exclure.

En Italie, après l'apparition de la Peter Witt, aucun réseau ne fit plus construire de motrices de petite capacité. Turin acheta des motrices très voisines du type milanais, toujours en service après des transformations et modernisations successives : Rome et Naples achetèrent des motrices à bogies de schéma plus classique, qui roulent encore. Plus tard, dans la limite de leurs moyens financiers, Milan, Turin et Rome continueront dans cette voie du tramway à grande capacité et passeront au matériel articulé.

Hors d'Italie, le succès fut mince tant le conservatisme de l'industrie des transports



En haut à gauche :  
Dérivées des Peter Witt, mais avec un schéma de portes classiques, les motrices à bogies de Rome sont en cours de modernisation (passage à un agent, montage de freins électromagnétiques). Vue prise à proximité du Colisée. P. Malterre.

En bas à gauche :  
Les principes de la Peter Witt ont inspiré les motrices à voie métrique de la Société nationale des Chemins de fer vicinaux (SNCV). Les motrices SO unidirectionnelles — telle que celle-ci prise le 29 mars 1969 à Nieupoort — étaient particulièrement réussies. Ce matériel s'efface progressivement devant les nouvelles rames articulées construites par BN.

En haut à droite :  
Motrice Peter Witt de Turin recarrossée à agent seul et quatre portes. Vue prise en 1980. P. Malterre.



Au centre :  
Des solutions de bonne facture (moteurs entièrement suspendus, caisse métallique) étaient appliquées à cette série de 25 motrices construites par le réseau de Bruxelles en 1935, réputées pour leurs belles performances, mais handicapées par l'absence de frein rhéostatique et de frein électromagnétique sur rails. (Photo ARBA), B. Dedoncker.

En bas à droite :  
Parmi la série 5001 à 5025 de Bruxelles la voiture 5018 avait reçu un prototype de caisse PCC et faisait office de laboratoire pour essais de bogies et d'équipements de démarrage. On la voit ici avec des bogies PCC. G. Nève.

publics était grand. On ne peut considérer que comme de lointains descendants de la motrice Peter Witt les motrices à bogies de l'Electricité Lille-Roubaix-Tourcoing, apparues en 1937 (série « 200 ») et en 1949 (série « 500 ») (voir « Chemin de Fer » n° 161), cette dernière série ayant été dotée d'un équipement électrique particulièrement brillant avant que ne soient condamnés les crans de shuntage, mais la caisse restait en bois avec un diagramme intérieur classique qui devait heureusement autoriser plus tard l'exploitation à agent unique.

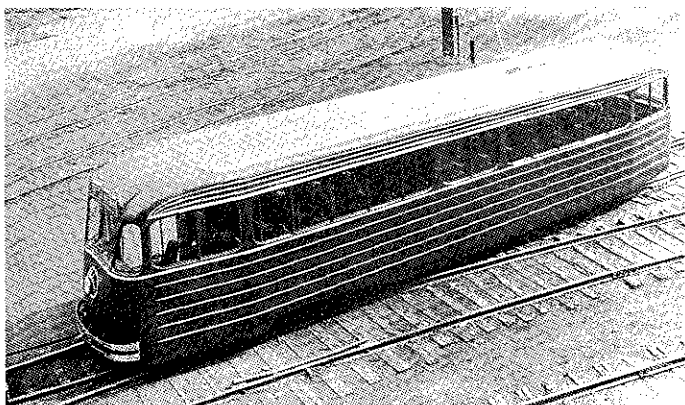
De même, les motrices vicinales belges, construites de 1931 à 1936, reprenaient des Peter Witt les bogies, mais pas le diagramme général. Après l'essai d'une motrice de Milan sur les voies du réseau bruxellois - la caisse ayant été désaxée latéralement de 7,5 cm pour permettre le croisement, l'entre-voie du réseau bruxellois étant calculée pour un gabarit de 2,20 m -, ce réseau fit construire une petite série de 25 motrices métalliques, unidirectionnelles, munies de moteurs plus puissants et circulant sans remorque (série « 5000 »).

Ces voitures, livrées pour l'Exposition Universelle de 1935, avaient un diagramme classique avec plates-formes d'extrémité et receveur ambulant qui fut installé à poste fixe à l'arrière par la suite. Elles assurèrent un bon service avec des performances brillantes, mais elles furent condamnées par l'absence de frein électro-magnétique sur patins, leur interdisant l'accès des tunnels du « pré-métro », et retirées du service en 1976.

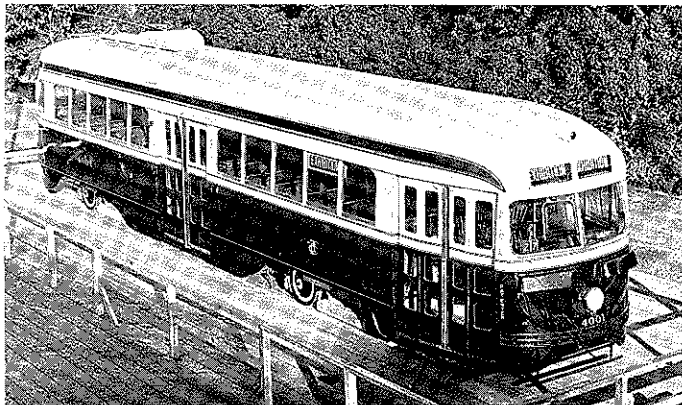
Dans les autres pays restés fidèles au tramway, la motrice Peter Witt n'eut aucun débouché. Ainsi en Allemagne, malgré l'essai d'une motrice milanaise sur les voies du réseau de Francfort, on continuera à travailler à la réalisation d'une série unifiée de matériel à 2 essieux, comportant certes des éléments modernes (caisse métallique, plancher bas, moteurs puissants), qui devait être développée jusque vers 1950 : il est piquant de noter que ces voitures sont maintenant totalement retirées du service commercial... alors que les Peter Witt roulent toujours.

Quelques villes firent exception : Dresde avec un matériel profilé à bogies (voiture-« brochet ») doté d'un équipement électrique très en avance sur son temps, qui roula jusqu'en 1972 ; Zurich, Rotterdam et Copenhague avec des séries importantes de belles voitures à bogies, construites entre 1930 et 1940, mais hélas en conservant le diagramme parisien à plate-forme centrale, ce qui réduisait la capacité et devait les rendre inadaptées à l'exploitation à agent unique.

En fait, le flambeau de la rame à grande capacité, de conception moderne, ne sera repris qu'en Suisse vers 1940, lorsque les réseaux suisses auront à faire face à un trafic en croissance rapide en même temps qu'à une pénurie de personnel. Mais pourtant, dès 1929, il était devenu patent que tout tramway n'offrant pas une centaine de places était, face à la motrice milanaise, périmé et, face à l'autobus dont la prolifération était proche, irrémédiablement condamné. Bien des réseaux se perdirent à le comprendre trop tard.



La première voiture de tramway réellement moderne selon les critères de 1981 : le prototype PCC sort de l'usine Pullman-Standard début 1934. Mis à part un essai malheureux de freins à courants de Foucault alimentés sous 600 V et de freins hydrauliques, y figurait déjà l'essentiel des dispositions retenues sur les PCC de série.  
Photo Pullman-Standard.

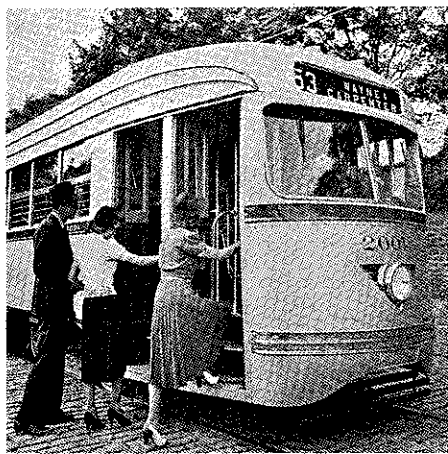


En 1938, le premier PCC de Toronto a l'honneur d'être présenté à l'Exposition Nationale Canadienne. Apparaissent sur cette vue les sabots de frein typiques des premières séries de PCC, munies du frein à air comprimé. Cette voiture a fait partie d'un lot de 200 voitures, vendu à Alexandrie (Egypte) en 1967 et maintenu en service jusqu'en 1981.  
Photo TTC. Collection G. Muller.

## Une merveille technologique des années 30 : La motrice PCC

Si la motrice Peter Witt avait convenablement établi la base économique du tramway moderne en mettant l'accent sur la forte capacité unitaire des voitures, elle n'avait pas introduit d'innovation technique marquante, hormis la construction métallique de la caisse. Or, dès les années vingt, les autres modes de transport entamaient une progression rapide. Pour les réseaux américains de tramways se posaient, dès cette époque, les problèmes de la concurrence naissante de la voiture particulière et de la mauvaise opinion qu'avait le public du tramway, jugé moins moderne et moins confortable que l'autobus. Les dirigeants de ces réseaux se réunirent dès 1927 pour étudier comment parer à ces dangers et arrivèrent, en 1929, à la conclusion qu'il était nécessaire et qu'il devait être possible de réaliser une motrice moderne, de grande capacité, conçue pour l'exploitation par un seul agent, offrant des performances et un

Pour les besoins de la publicité du réseau de Philadelphie, ces figurants montrent comme il était facile de monter dans le premier PCC livré en 1938. Malgré un entretien quasi-nul pendant deux décennies, des voitures de cette série ont été trouvées dans un état suffisamment correct pour mériter une remise à neuf complète dans ces dernières années.  
Photo SEPTA.



confort susceptibles de supporter la comparaison avec l'automobile particulière.

« L'Electric Railways President's Conference Committee » passa un contrat d'études de 700 000 dollars (2) avec une équipe dirigée par le Professeur Hirshfeld, précédemment Directeur de la Recherche de la Société Edison, et 40 ingénieurs et dessinateurs se mirent au travail en 1931. Deux prototypes furent essayés en 1934 et le réseau de Brooklyn passa alors la première commande de 100 voitures dites PCC, du nom de l'organisme maître d'ouvrage de l'étude. En octobre 1936, la première voiture était livrée : elle existe toujours et roule sur la ligne-musée de Branford (Connecticut).

Pour arriver à cela, l'équipe d'Hirshfeld commença à reprendre à la base les problèmes du tramway et fixa les standards de performances à respecter. Hirshfeld explora, vingt ans avant les travaux de Jacques Leroy à la R.A.T.P., les questions d'accélération et de « jerk » (3) acceptables par les voyageurs et montra qu'un passager debout pouvait sans inconfort supporter une accélération allant jusqu'à 2 m/s<sup>2</sup> pour autant qu'elle fut appliquée de façon progressive, sans variation brutale (« jerk » inférieur à 0,6 m/s<sup>3</sup>) (4). L'équipe d'Hirshfeld étudia avec beaucoup de soin, pour la première fois de façon rationnelle et scientifique, les conditions de confort (accélérations verticales et transversales, niveaux de bruit, éclairage, ventilation, chauffage, etc.).

La satisfaction des exigences ainsi formulées obligea à imaginer dans tous les domaines des solutions innovantes : pas un seul organe du tramway n'échappa à cette recherche et un des traits principaux de la voiture PCC est l'extrême homogénéité et la cohérence des dispositions retenues. Il ne saurait être question ici d'en fournir une description détaillée et nous nous limiterons à mettre en évidence ses originalités les plus marquantes.

Les brevets pris par l'équipe d'Hirshfeld intéressent surtout les roues, les bogies et la caisse. Les ingénieurs étaient vite parvenus à la conclusion que pour atteindre les objectifs de douceur et de silence de roulement qu'ils s'étaient fixés, il était nécessaire d'utiliser par-

tout où c'était possible le caoutchouc comme élément insonorisant et anti-vibratile, et d'éliminer au maximum les frottements, coulissements, articulations, etc. métal sur métal.

Dans cette optique, la roue élastique était indispensable. Deux modèles furent développés, dont un ressemblait, coïncidence à coup sûr, à celui essayé avec succès à la même époque par Bacqueyrissé sous des motrices parisiennes du type L. Les roues PCC, fabriquées par Carnegie, ont révélé des qualités qui n'ont été égalées que bien plus tard par d'autres constructeurs : ce commentaire est applicable à la plupart des solutions retenues pour la voiture PCC.

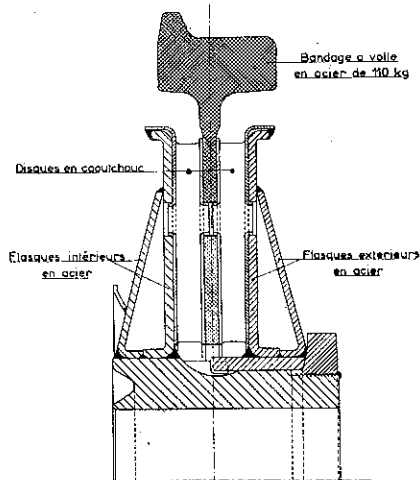
Après l'essai de quelques bogies prototypes, dès 1935 le modèle définitif (dit « B 2 »), qui devait équiper la quasi-totalité des voitures construites aux U.S.A., fut mis au point et se révéla d'emblée exceptionnellement réussi. La disposition était originale avec les moteurs placés longitudinalement et munis d'une transmission à engrenages hypoides dont les carter enveloppaient complètement les essieux. La suspension primaire était confiée à des ressorts en caoutchouc, mais ceux disponibles à

(2) correspondent à plus de 10 millions de dollars valeur 1982 (environ 70 millions de francs).

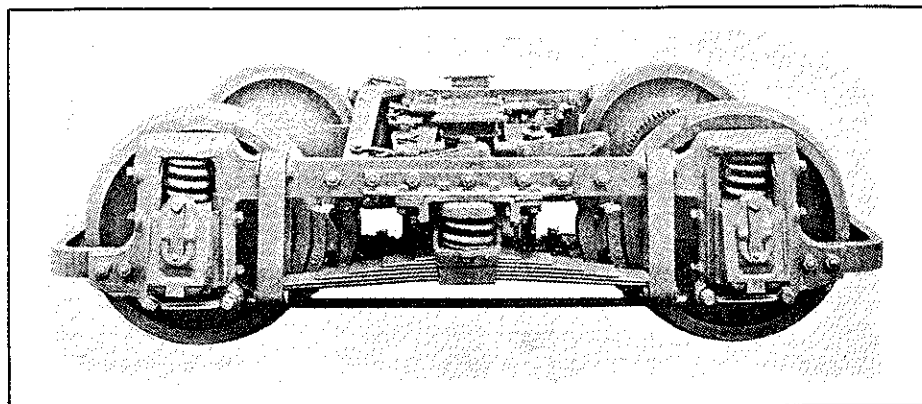
(3) « jerk » : à coup (dérivée de l'accélération) représentant l'aspect théorique « de la conséquence physiologique » des variations brusques d'accélération ressentie au moment du départ et de la fin du freinage.

(4) Pour remédier à la pénurie de garnitures de freins pendant la deuxième guerre mondiale, on a modifié certains équipements PCC pour renforcer l'action à basse vitesse du frein rhéostatique. Ceci a eu pour conséquence de supprimer la réinsertion de résistance avant la coupure du circuit de traction lorsque le conducteur relâche la pédale d'accélération ; le voyageur debout, soumis à une accélération importante, dépassant 1 m/s<sup>2</sup>, peut se voir brutalement ramené à une accélération nulle avec alors un jerk de très forte valeur, et c'est ce qui rend si désagréable le séjour debout dans ces voitures. Cette disposition de fortune, allant à l'encontre des recommandations d'Hirshfeld, a malheureusement été perpétuée sur des équipements PCC européens construits après la guerre ; l'écueil a été par contre soigneusement évité sur les matériels suisses et allemands.

## ROUE ELASTIQUE



Coupe de la roue « résilient » Carnegie des motrices PCC de Saint-Etienne. La roue « super résilient » se distingue par le mode d'assemblage avec des écrous en périphérie au lieu d'un écrou central et par la présence de 2 disques de chaque côté du bandage. Dessin CFVE.



Tout ce dont Hirshfeld ne voulait plus est illustré sur ce bogie Brill, très répandu des deux côtés de l'Atlantique : nombreux frottements métal sur métal générateurs d'usures rapides, boîtes d'essieux à paliers lisses laissant des jeux latéraux incontrôlables, roues pleines résonnant comme des cloches, timoneries de freins ferrillantes, engrenages cylindriques « musicaux », etc., le tout donnant, malgré une suspension très douce, des mouvements parasites désagréables, un roulement particulièrement sonore, et exigeant un entretien fréquent et onéreux. Archives P. Malterre.

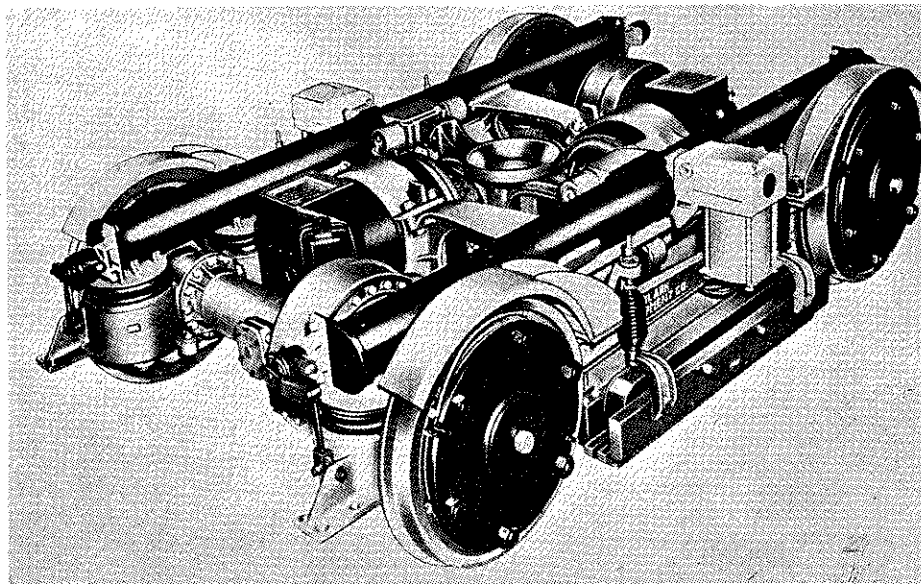
En comparaison, ce bogie PCC B2 illustre les bouleversements introduits par l'équipe d'Hirshfeld. Ce que la photo ne peut montrer sont les nombreuses applications de caoutchouc, depuis les roues (du type « super résilient » sur ce modèle) jusqu'à la crapaudine de la traverse danseuse. Sur ce modèle, la suspension primaire fait appel à des ressorts hélicoïdaux insérés entre des galettes de caoutchouc. On notera les amortisseurs hydrauliques Houdaille, inspirés de la technique automobile des années 30, et les solénoïdes de commande des freins à tambours. Clarke.

l'époque ne pouvaient assurer le guidage longitudinal des essieux et il fallut ajouter des bras reposant sur des paliers de caoutchouc pour assurer leur parallélisme. L'usage du caoutchouc était suffisamment développé pour obtenir un bogie ne réclamant pratiquement pas d'entretien... et c'est d'ailleurs bien ce qui devait se passer trois décennies plus tard sur la plupart des réseaux américains.

La justesse de cette conception devait rapidement se révéler, et se vérifier quand, tout récemment, le réseau de Philadelphie entreprit par souci de sécurité un contrôle sérieux des bogies sur des voitures ayant 40 ans de service avec un entretien depuis longtemps minimal et des voies exécrables : tout était encore en bon état et il n'y avait pratiquement aucune trace de ces mauvais traitements.

Sur les premières séries de voitures PCC, les freins classiques à sabots de bogies furent conservés, mais ils furent assez vite remplacés par des freins à tambours calés sur des arbres de transmission - encore une similitude avec les techniques chères à la S.T.C.R.P. - avec un mécanisme simple et direct. Pour les freinages d'urgence on ajouta des freins électromagnétiques sur rails, alimentés par la batterie par souci de sécurité. Pour la première fois fut appliqué un système de combinaison de freins sur la même pédale, de façon à se servir systématiquement du frein rhéostatique, le frein sur tambours n'intervenant qu'à faible vitesse pour achever l'arrêt.

La construction des caisses fit également l'objet de progrès considérables : les derniers développements en matière d'aciers à haute résistance furent mis à profit pour obtenir des caisses autoportantes de construction soudée, dont le poids fut réduit de 20 % par rapport aux réalisations antérieures tout en offrant une solidité bien supérieure. Les aménagements intérieurs furent remarquablement traités et les voitures PCC livrées en 1936 pourraient à leur avantage supporter la comparaison avec



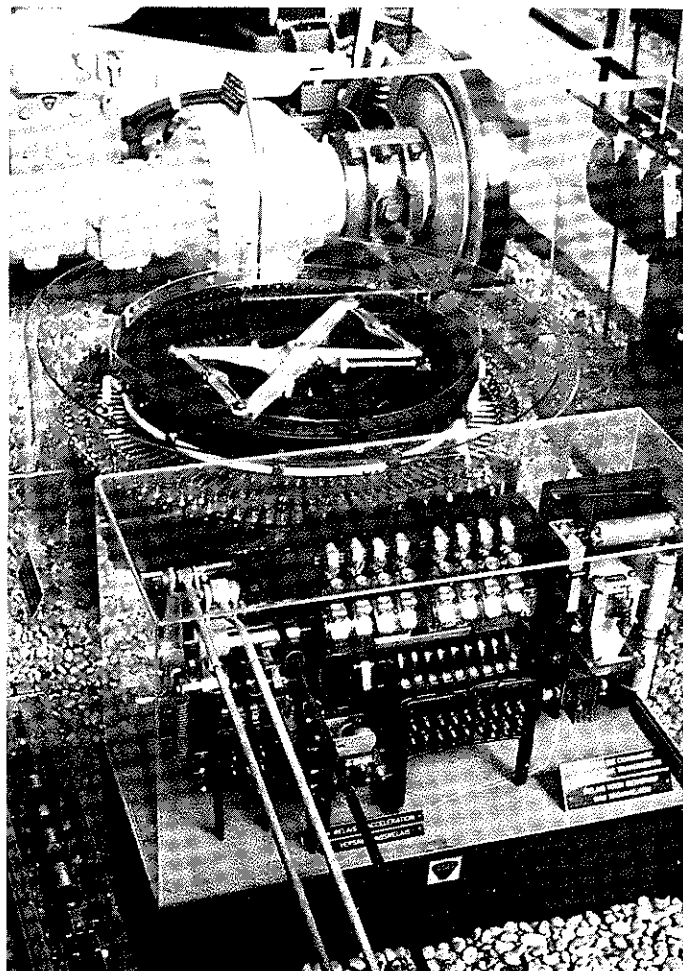
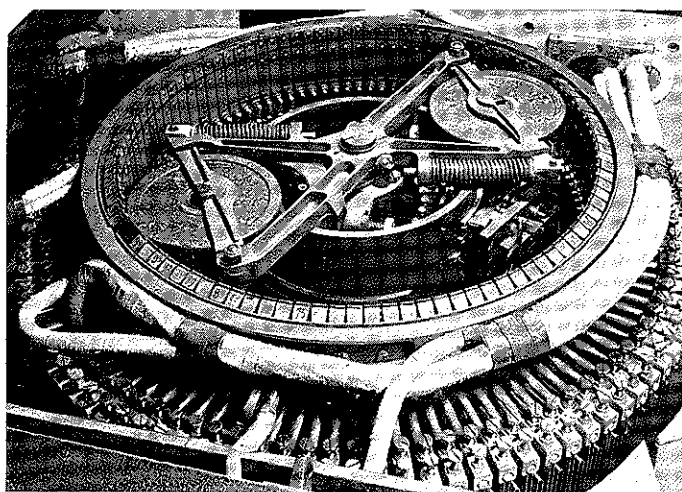
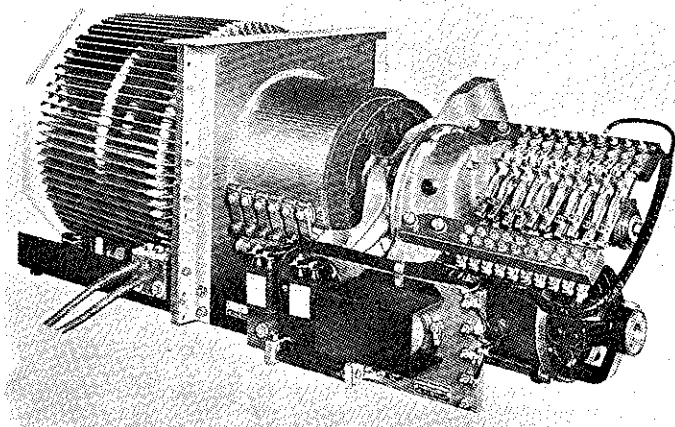
nombre de matériels urbains fabriqués en 1981...

Ce furent par contre les industriels qui développèrent les solutions appliquées à l'équipement électrique et qui prirent les brevets correspondants. Il était hors de question d'obtenir, même avec l'adhérence totale, des accélérations et freinages aussi puissants et progressifs que ceux demandés par Hirshfeld avec les anciens équipements à commande manuelle n'offrant qu'une douzaine de crans, et avec le seul frein à air. Les industriels développèrent des équipements entièrement nouveaux, permettant l'élimination et l'insertion du rhéostat avec un très grand nombre de crans supprimant toute discontinuité appréciable, dont le fonctionnement fut rendu indépendant de l'habileté du conducteur qui affichait par le jeu d'une pédale le niveau d'accélération ou de freinage demandé. On obtint des réalisations révolutionnaires regrou-

pant dans un même ensemble le rhéostat et le servo-moteur de commande (accélérateur circulaire de Westinghouse, collecteur avec balais tournants de General Electric) avec des relais d'accélération réglables qui ont marqué un sommet de la technologie électromécanique avant l'ère de l'électronique (5). Ces équipements, malgré leur complexité apparente, se sont révélés comme les plus robustes et les plus fiables construits jusqu'alors.

(5) Il est important de bien assimiler le principe de la commande d'un PCC : le conducteur en enfonçant plus ou moins sa pédale détermine la vitesse de rotation de l'accélérateur, donc l'accélération ; quelle que soit la position du pied l'équipement ira jusqu'à l'élimination totale du rhéostat et jusqu'au dernier cran de shuntage, et la vitesse maximale atteinte sera la même. L'équipement PCC n'offre qu'un seul cran stabilisé de marche économique ; c'est évidemment un point faible dont l'importance a échappé au temps de l'énergie bon marché, mais ce type de commande était remarquablement adapté aux parcours offrant une faible distance entre arrêts.





De haut en bas et de gauche à droite : (General Electric - Béraud - Schnabel)

Les très nombreux crans de démarrage et de freinage sont, sur les PCC, obtenus grâce à un « accélérateur ». Quelles qu'en soient les versions, leur aspect caractéristique a pu, dans l'esprit de certains profanes, les faire confondre avec un moteur de traction :

- Version GECo de 1936 donnant 260 crans de démarrage et 520 crans de freinage.
- Version Westinghouse des PCC de St-Etienne (construction ACEC) avec 79 crans de démarrage et 99 crans de freinage. Une variante construite en 1968 donne 135 crans de démarrage et de freinage et permet les couplages S et SP.
- Ensemble d'accélération Westinghouse/ACEC avec tambour d'asservissement et relais d'accélérateur présenté par la STIB à l'Exposition de Bruxelles en 1958.

Il est essentiel de souligner, car cela explique la réussite de la voiture PCC, que le souci d'innovation n'a jamais été dissocié du souci de la simplicité (6), de la robustesse et de la facilité d'entretien. A cet égard, la motrice PCC se classe dans la lignée des produits célèbres de l'industrie américaine qui ont prouvé, sous toutes les latitudes et dans des conditions de fonctionnement parfois invraisemblables, leur sûreté et leur qualité. Il faut, croyons-nous, en chercher la raison dans la coopération de tous les instants qui s'était établie entre les exploitants commanditaires de l'étude, l'équipe de conception et les industriels du tramway. A contrario, comment ne pas songer aux désastres qui devaient marquer, bien plus tard, cette absence de coopération et la mise à l'écart des exploitants et des industriels pour l'étude de systèmes ou de matériels de transport urbain nouveaux : l'exemple du BART de San Francisco vient tout naturellement à l'esprit, mais il n'est pas le seul. . .

(6) C'est ce souci de simplicité qui a conduit à l'adoption d'un seul couplage (série-parallèle) des 4 moteurs avec démarrage purement rhéostatique ; c'est une solution malheureusement coûteuse en énergie.

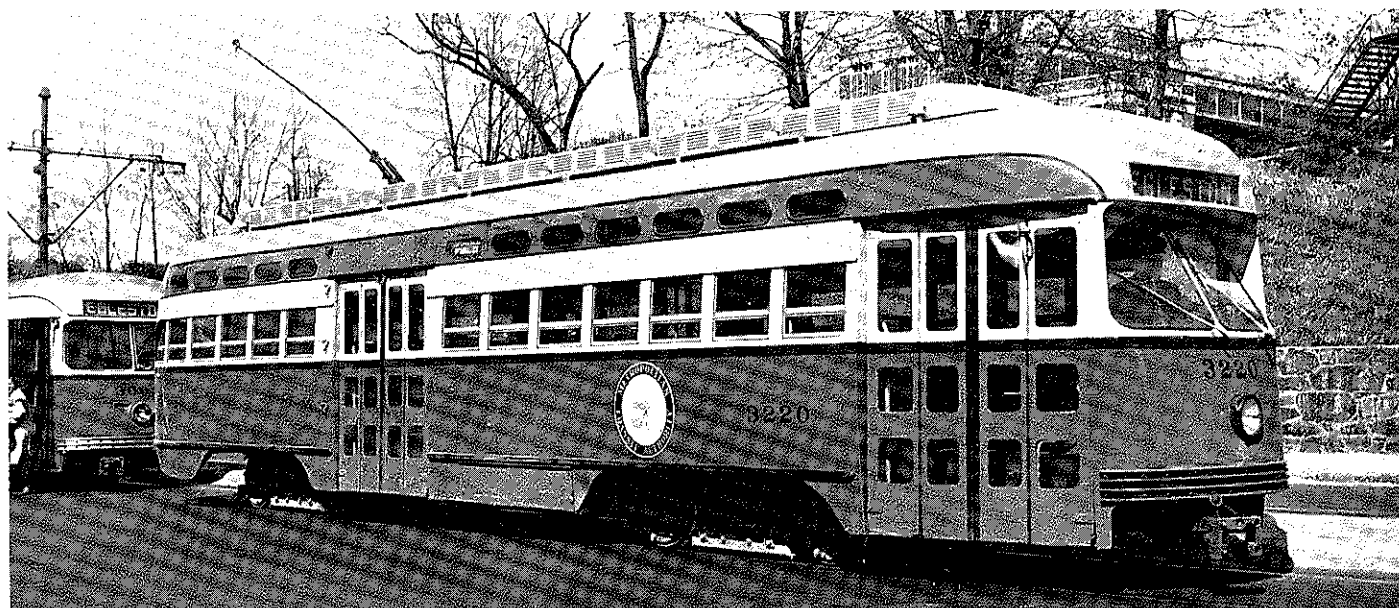
Dans l'affaire de la voiture PCC — et c'est intéressant car l'histoire n'est souvent qu'un éternel recommencement — cette coopération ne fut pas obtenue sans difficulté. Lors d'une conférence faite à Bruxelles le 15 avril 1948 devant les Directeurs de réseaux de transport urbain belges et français, W. Davis, qui fut un des responsables de l'étude, cita les problèmes qu'il rencontra. Nous ne pouvons résister au plaisir de le citer, tant ses propos paraissent actuels :

« Quand nous avons cherché à obtenir des moteurs plus légers de moitié et moins chers d'autant par rapport aux moteurs existants, on nous répondit que c'était impossible. Quand nous demandâmes des contrôleurs à accélération progressive, nous échouâmes si complètement que nous dépensâmes 25 000 dollars pour étudier une transmission hydraulique avant d'arriver à convaincre les constructeurs de matériel électrique que nous étions bien décidés à ne pas transiger. Quand nous exigeâmes un freinage à air puissant mais très progressif, nous avons dû étudier différents autres systèmes avant d'obtenir le concours des fabricants de frein à air. Quand nous prescrivîmes des caisses soudées, les principaux

constructeurs refusèrent de nous suivre et nous avons dû poursuivre nos essais dans un atelier désaffecté à la suite d'une faillite. Et enfin, quand le cahier des charges a été rédigé pour les 100 premières voitures destinées à Brooklyn, l'offre la plus basse que nous obtînmes fut de 28 000 dollars par voiture. Quand je vous aurai dit que le prix auquel nous sommes arrivés après de longues négociations fut de 14 000 dollars par voiture, je pense que vous vous rendrez compte qu'il s'agit d'une période de croissance qui devint presque « sanglante ». »

Un autre aspect particulièrement réussi de la voiture PCC fut sa modularité. Sans rien sacrifier des principes essentiels de construction (outillages de caisse par exemple), des caractéristiques principales telles qu'équipement électrique, moteurs, auxiliaires, etc., il fut possible de s'adapter aux réels problèmes spécifiques de quelques villes, en écartant les particularismes abusifs. Citons à nouveau W. Davis :

« Quand un dirigeant de réseau nous affirme que les conditions d'exploitation de son agglomération sont différentes de celles de toutes les



Ci-dessus :  
Boston 1946 : voiture « all electric » avec « Standee-windows », ventilation forcée et décalage de la porte vers l'arrière.

Photo St-Louis Car.

En bas à droite :  
Le pare-brise incliné et l'écran anti-reflets n'affectent pas la visibilité sur cette voiture de St-Louis des années 1945.

Photo MTA — Archives G. Muller.

autres villes, nous ne sommes plus guère impressionnés car nous avons bataillé victorieusement sur cette question dans toute l'Amérique et le Canada — de Boston à Los Angeles et de Montréal à Dallas dans le Texas — et nous savons que ce n'est pas vrai... Cet objectif (réaliser des voitures modernes à très bon marché et bas prix d'entretien) ne peut être atteint que par l'union et la coopération d'un certain nombre de réseaux. Il est en effet essentiel que tous les participants acceptent le principe de la voiture standard, ne variant d'un réseau à l'autre que par son gabarit (longueur, largeur et écartement des voies), la disposition des sièges et le choix de certains accessoires... Les spécifications de notre cahier des charges prévoient la possibilité d'ajouter ou de retrancher une baie de fenêtre, ce qui détermine la longueur des voitures, d'ajouter ou de retrancher une bande centrale longitudinale ce qui permet d'ajuster la largeur de caisse. Les variantes qui en résultent ne dérangent pas la production en série et n'entraînent aucune modification d'outillage.»

De fait, la variété apparente des PCC américains est étonnante : uni ou bi-directionnels, largeur variant de 2,54 m à 2,66 m (cas de Chicago, où la caisse était désaxée latéralement de 10 mm par rapport aux pivots de bogies) longueur variant de 14,5 à 16,20 m, commande à main ou par pédales, etc.

Ces règles d'or ont été, on le verra dans la suite de cette note, suivies par les licenciés belges et elles sont aussi à la base du succès de Düwag devenu le premier fournisseur occidental de voitures de tramways et de métros légers. Il nous semble par contre que l'industrie française a beaucoup de mal à faire le partage entre, côté ferroviaire, une rigidité excessive (rien n'est modulable et toute modification oblige à tout reprendre) et, côté routier, à une souplesse également abusive (exemple des innombrables versions de l'autobus dit Standard).

Après la livraison des premières voitures PCC, le Comité de la Conférence des Présidents décida de conserver une partie de l'équipe d'étude pour poursuivre le perfectionnement de ce matériel ; il fut créé une organisation sans but lucratif administrée par les dirigeants de réseaux utilisateurs de PCC : la Transit Research Corporation. Elle poursuivit les études qui aboutirent à modifier de façon importante le véhicule de 1936 à 1951, géra les nombreux brevets pris depuis 1931 et attribua les licences de fabrication. Elle maintint, jusqu'à l'effondrement des années cinquante, la coopération entre réseaux utilisateurs. Ses frais furent couverts par une redevance sur l'acquisition de chaque voiture PCC. Là aussi, il nous semble qu'il y aurait quelques leçons à prendre...

La fabrication du PCC fut confiée à trois constructeurs mécaniciens (Saint-Louis Car et Pullman pour les caisses, Clark pour les bogies) et à deux constructeurs électriciens (Westinghouse et General Electric). Le plus important fabricant de tramways, J.G. Brill, qui n'avait pas cru au succès du PCC, se retrouva totalement privé de commandes en quelques années.

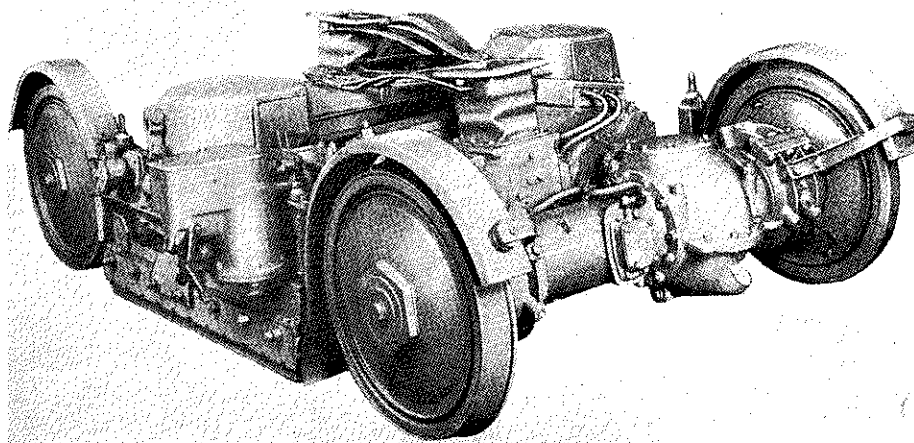
211 voitures PCC étaient déjà en service à fin 1935 et 1 231 à fin 1940, les délais de livraison étant alors de l'ordre de 6 à 8 mois... Malgré la conversion de l'industrie américaine à l'effort de guerre, 1 520 motrices furent construites entre 1941 et 1945 ; en 1946-47, le rythme annuel de production monta à 700 voitures avec un délai de livraison d'environ 15 mois. La production cessa en 1951 avec la 4 919<sup>ème</sup> voiture. Les plus gros utilisateurs étaient alors Chicago (682 voitures), Pittsburgh (666), Toronto (591), Washington (489), Philadelphie (469), Boston (321) et Saint-Louis (300).

Depuis 1936, la T.R.C. avait fait évoluer la voiture ; la principale modification intervenue en 1946 fut l'élimination de l'installation d'air

comprimé, les freins sur tambours étant désormais serrés par ressort et desserrés par des solénoïdes (ce principe avait été appliqué pour la première fois en 1930 sur le matériel C3 du métro de Berlin). Tous les auxiliaires étaient désormais actionnés par des moteurs électriques à basse tension, ce qui conduisit à une réduction notable des frais d'entretien, surtout dans les villes au climat rigoureux.

D'autres modifications ont porté sur la caisse (adjonction de petites vitres pour améliorer la visibilité des voyageurs debout, adoption d'un pare-brise incliné anti-reflets, allongement pour améliorer le confort des places assises) et sur l'équipement électrique (ventilation forcée des moteurs pour améliorer leur tenue et permettre une utilisation plus





Le bogie B 3, sans suspension primaire. Le palier de la roue la plus à droite et celui de la roue la plus à gauche sur la photo comportent une épaisse bague en caoutchouc et le châssis comporte 2 longerons en L ainsi articulés élastiquement. La suspension secondaire fait appel à des ressorts hélicoïdaux à rappel pendulaire. Les autres organes (freins, transmission, crapaudine, etc.) sont identiques à ceux du modèle B 2. Noter les roues ici du type « résilient » à écrou de serrage central. Ce bogie a été construit par la St Louis Car, par BN (il équipe les PCC de Marseille), et, en version « voie large », « voie normale », « voie métrique » (dans ce cas avec châssis extérieur), par Tatra à près de 40.000 exemplaires.

intensive du frein rhéostatique). Les ressorts en caoutchouc du bogie B 2 ne donnant pas satisfaction ont été remplacés par des ressorts hélicoïdaux montés sur caoutchouc.

Un nouveau type de bogie (dit « B 3 »), plus simple que le précédent, a été également mis au point. Destiné essentiellement aux réseaux comportant une forte proportion de voies ballastées sur rails Vignole, plus élastiques que les voies en chaussée, ce bogie ne comporte pas de suspension primaire, mais un châssis élastiquement déformable avec une suspension secondaire à grande flexibilité, la transmission et le pivot restant ceux du modèle précédent. A partir de 1947, les réseaux ont pu, selon leurs caractéristiques de voie, choisir entre les deux types B 2 et B 3. De plus, deux modèles pour voie métrique (B 1 pour Los Angeles, B 6 pour l'exportation, ce dernier comportant la suspension primaire du modèle B 2 et la suspension secondaire du modèle B 3) ont été construits.

A partir de 1949, s'amorça la baisse du trafic liée au redémarrage fulgurant de l'industrie automobile ; en même temps, la General Motors entama ses manœuvres de rachat des réseaux pour y supprimer tramways et trolleybus et y placer son matériel. Les premiers réseaux équipés de PCC qui succombèrent ainsi furent San Diego, Louisville et Cincinnati et il se créa dès lors un marché du PCC d'occasion dont le premier effet fut d'arrêter toute commande à l'industrie, San Francisco recevant les 25 dernières voitures neuves en 1951. Ce marché se développa avec les grosses suppressions des années 50 (Saint-Louis, Cleveland - réseau urbain -, Détroit, etc.) et les réseaux fidèles au tramway purent s'équiper à bon compte de voitures pratiquement neuves. Le parc de Toronto monta à 744 PCC, et celui de Philadelphie à 559, Boston 344, Mexico 272, etc. Moins de 5 ans après la livraison de sa dernière motrice PCC, le réseau de Chicago, constatant que l'encombrement croissant de la voirie ne permettrait plus à ce matériel d'être exploité dans de bonnes conditions économiques, décidait de supprimer le tramway en récupérant sur ses motrices un grand nombre de

pièces (sièges, fenêtres, éléments de caisse, bogies et équipements électriques) pour la construction de 570 motrices de métro, l'opération s'achevant en 1958. Les suppressions continuèrent jusque dans les années soixante (Baltimore, Washington, Los Angeles, Kansas City, etc.) et nombre de PCC furent alors soit vendus à l'étranger (Le Caire, Alexandrie, Barcelone, Sarajevo), soit ferraillés. On verra dans la suite de cette note que seuls quelques réseaux ont pu tant bien que mal résister, avec un parc réduit à un millier de motrices environ.

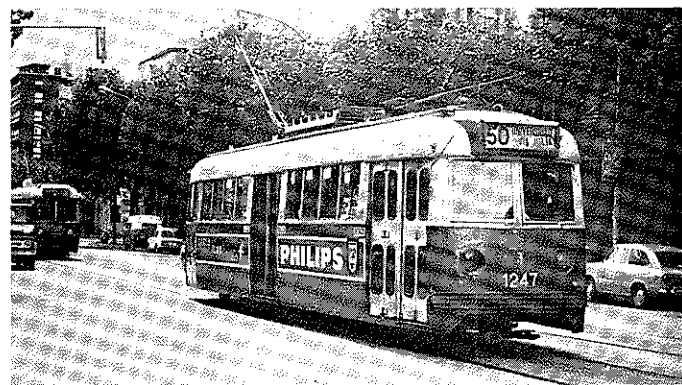
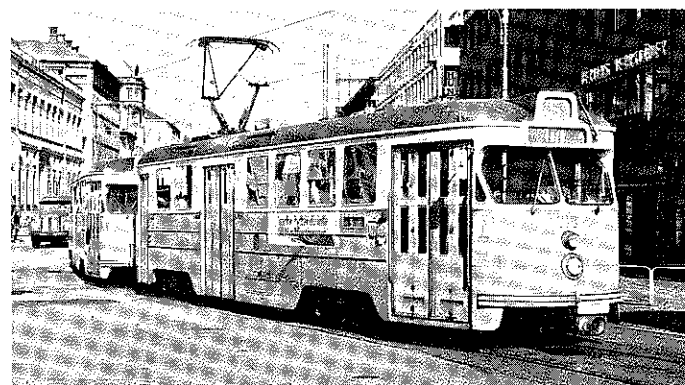
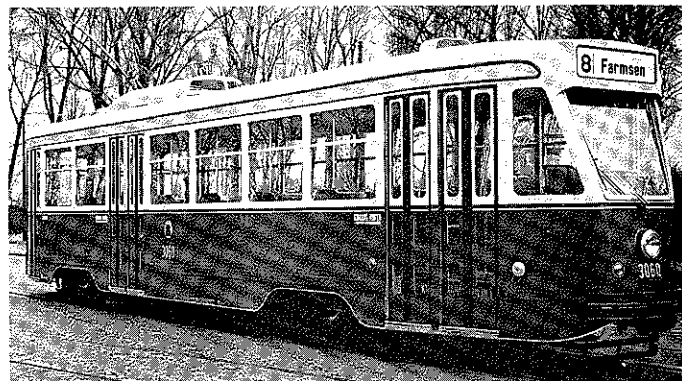
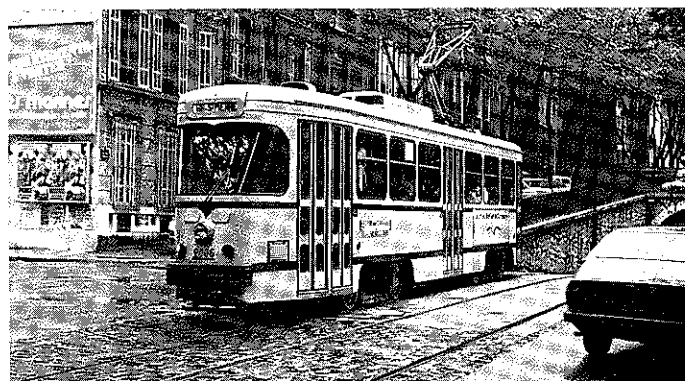
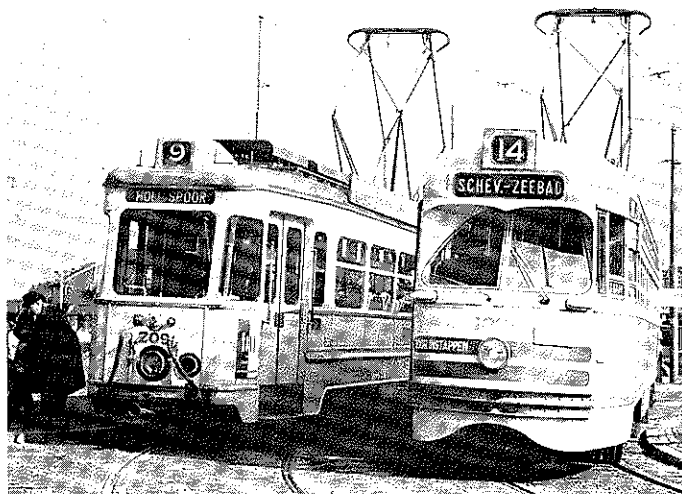
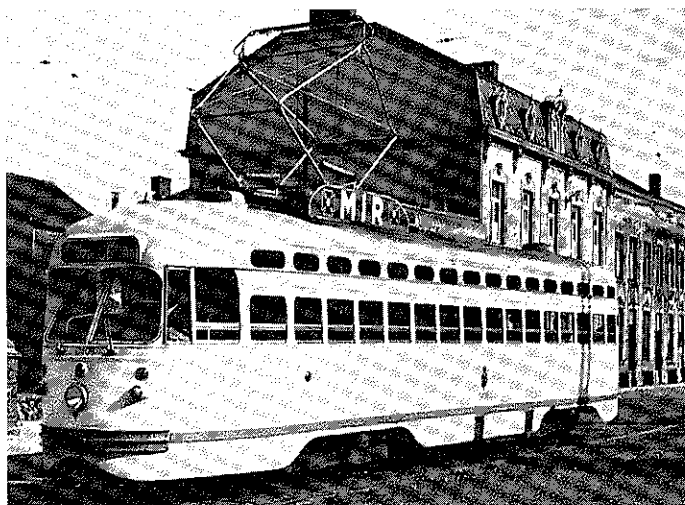
Depuis 1951, en Amérique du Nord, l'histoire de la motrice PCC n'est donc plus que celle de sa survie ; elle n'est pas terminée puisque plusieurs réseaux ont entrepris une remise à neuf de leurs meilleures voitures, accompagnée d'une modernisation des aménagements intérieurs, si bien qu'on peut supputer le retrait du service commercial de la dernière motrice PCC américaine vers 1990, longévité exceptionnelle pour un matériel conçu pour durer une vingtaine d'années !

C'est en Europe que devait être pris le relais du développement de cette voiture. Dès avant les hostilités, plusieurs réseaux et constructeurs s'y étaient intéressés et avaient noué des contacts avec la T.R.C. En novembre 1947, une motrice Saint-Louis Westinghouse fut achetée par la « Brugeoise et Nivelles » et les « Ateliers de Construction Electrique de Charleroi » qui devinrent licenciés de la T.R.C. Un mois plus tard, elle fut essayée de nuit sur le réseau de Bruxelles ; achetée le 5 avril 1948 par la Société Nationale des Chemins de Fer Vicinaux et dotée de bogies pour voie métrique, elle fut mise en service le 28 août 1948 sur la ligne Knokke-Oosthoek et, en 1949, sur la ligne Bruxelles-Louvain. Cette voiture a connu le sort habituel des prototypes et a disparu assez mystérieusement en 1952 ; elle avait ouvert une voie féconde, de même que 2 motrices construites par Saint-Louis/Westinghouse en 1949 et livrées, après assemblage par B.N. et A.C.E.C., au réseau de La Haye. Ces 2 motrices, mises en ligne en août 1949, sont toujours en service régulier en 1981.

B.N. et A.C.E.C. devaient en effet fournir, à partir de 1951, des motrices PCC aux réseaux de Bruxelles (171), Anvers (125), Gand (46), La Haye (234) Hambourg (1, revendue à Bruxelles après un crochet par Copenhague), Belgrade (5), Marseille (16), S.N.C.V. (24, revendues en 1960 à Belgrade), Saint-Etienne (30), Stockholm (2, construites sous licence en Suède). Des motrices de Bruxelles ont réutilisé des équipements électriques et des bogies en provenance de voitures de Kansas-City (75 voitures) et Johnstown (18 voitures). Toutes ces voitures ont reçu des caisses dont l'esthétique est plus conforme aux canons européens, sauf La Haye restée fidèle à l'allure typiquement américaine. La plupart ont débuté leur carrière avec une exploitation à 2 agents (sauf La Haye) et sont maintenant converties à l'exploitation par agent seul. Les 2 motrices de Stockholm ont été retirées du service lors de la suppression quasi-totale de ce réseau en 1967, liée au changement du sens de la circulation générale, toutes les autres roulent en 1982, sauf celles livrées en 1952 à La Haye.

L'Italie s'est aussi intéressée au PCC, mais la C.G.E. italienne, licenciée de la T.R.C. a apporté un certain nombre de modifications, pas toujours heureuses, à la voiture PCC. De 1946 à 1960, 126 voitures PCC ont été livrées à Turin et 160 à Madrid, les bogies « B 2 » de celles-ci se singularisant entre autres par l'absence de freins électromagnétiques sur rails. Milan acquit entre 1952 et 1958 trois séries de voitures (51, 36 et 4 exemplaires) ayant un grand nombre de caractéristiques du PCC (les dernières étant intégralement du type PCC : elles ont été revendues en 1981 au réseau de Rome) et Rome acheta 20 authentiques PCC « tout électrique » en 1956. Göteborg s'est dotée en 1950 de 125 et en 1966 de 70 motrices munies de bogies et d'un équipement électrique fortement inspirés de la technique PCC. Toutes ces voitures sauf celles de Madrid, sont en service régulier en 1982. Enfin, Barcelone a acquis entre 1945 et 1954, 110 motrices dotées d'un équipement ordinaire à contacteurs, mais roulant sur des bogies pratiquement identiques au modèle B 2, sans d'ailleurs que la T.R.C. touche la moindre licence. Ces excellentes voitures ont disparu avec les dernières lignes d'un réseau qu'une décision regrettable démantela entre 1967 et 1971.

Mais le plus grand succès de la motrice PCC a été, par une ironie de l'histoire, rencontré en Europe de l'Est. Déjà en 1938, la firme tchèque Tatra était entrée en négociations avec la T.R.C. et elle devint licenciée en bonne et due forme en 1947. 4 années plus tard, sortait la première voiture « T1 » dont 287 exemplaires furent construits jusqu'en 1957. Dès 1955, était apparu un deuxième modèle « T2 » plus large (2,5 au lieu de 2,2 m) : 391 voitures furent livrées jusqu'en 1962, la plupart allant équiper les réseaux soviétiques. A partir de 1960, fut mis en chaîne le type « T3 », d'esthétique beaucoup plus évoluée, mais conservant fidèlement l'ensemble des dispositions du PCC américain (bogies type B 3 et équipement type Westinghouse « all electric »). Cette voiture est toujours fabriquée à raison de 1 000 exemplaires par an et au total plus de 17 000 voitures tchèques circulent dans la



#### Colonne de gauche de haut en bas :

Près de Charleroi, en 1956, un PCC de la SNCV. Ces voitures assurent depuis 1960 un excellent service à Belgrade conjointement à des PCC Tatra T4YU à caisse unique et KT4YU articulés, mais leur réforme est maintenant proche. Craman.

Marseille : PCC BN/ACEC d'une largeur de 2 m avec bogies B3 et roues Bochum. Ces voitures devraient circuler en rames de 2 en 1983 après mise en correspondance de la ligne 68 et de la ligne 2 du métro ; 3 motrices supplémentaires sont en construction. P. Malterre.

Copie suédoise (ASEA) du PCC construite pour Göteborg de 1962 à 1972. On y retrouve l'essentiel de la philosophie PCC. P. Malterre.

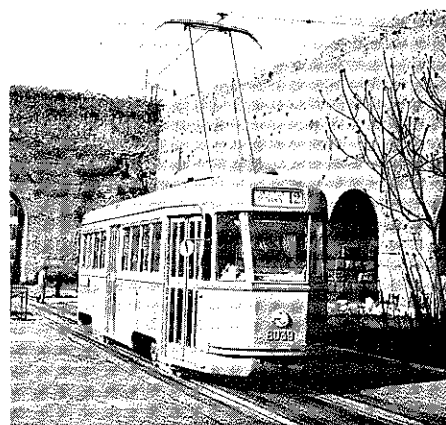
#### Colonne de droite de haut en bas :

En 1954 à Scheveningen, une des 16 motrices Oerlikon de 1949 retirées du service en 1965 et un des 24 premiers PCC BN/ACEC de 1952 dont la réussite a évité la suppression d'un réseau alors très menacé, retirés du service en 1982. P. Malterre.

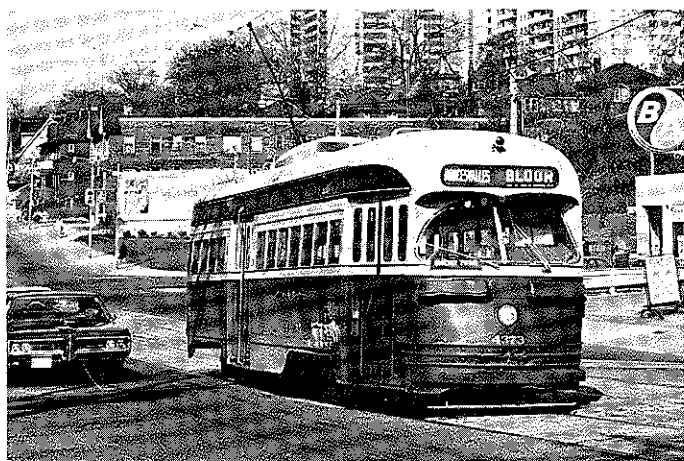
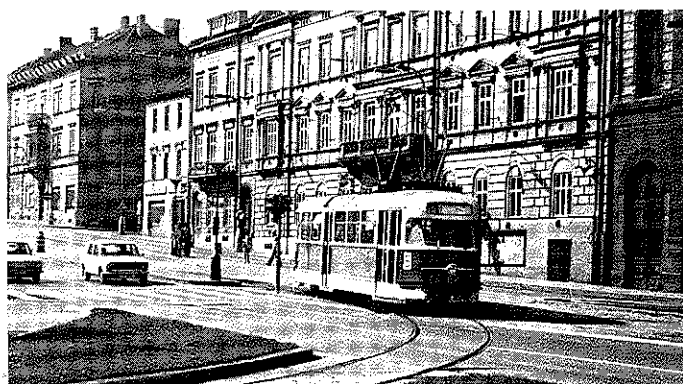
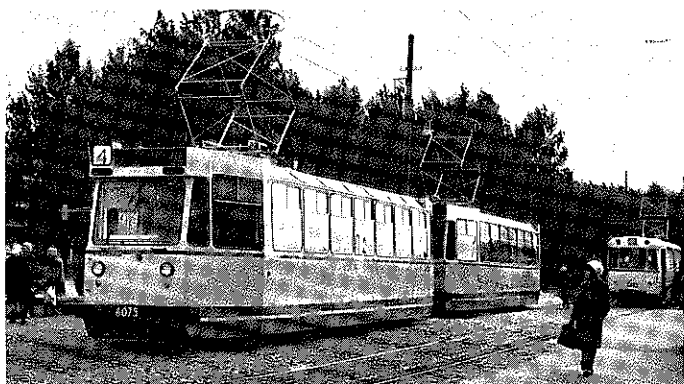
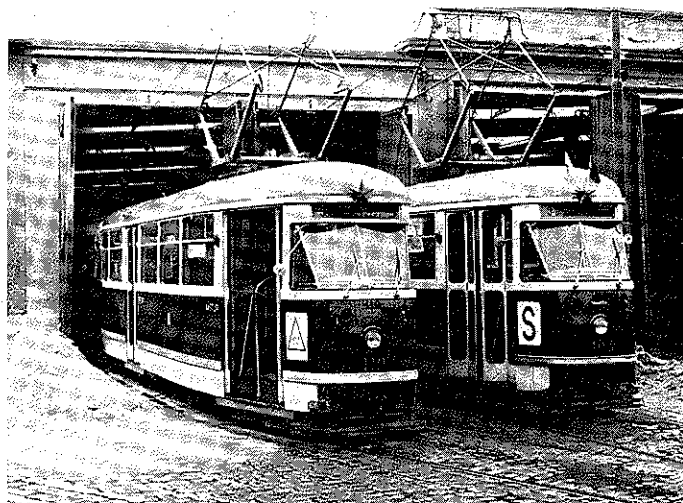
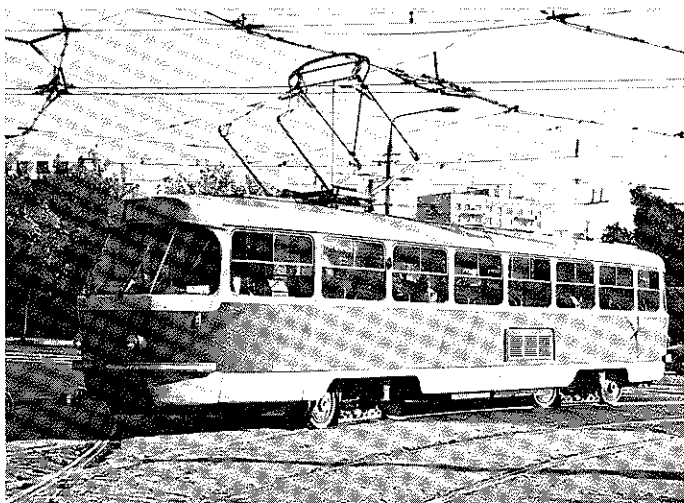
Un essai sans suite : le PCC BN/ACEC acheté par Hambourg en 1951. La HHA lui préférera ses « Grossraumwagen » et la voiture, après un essai à Copenhague, rejoindra les 170 PCC de Bruxelles. Photo HHA — Archives G. Muller.

Un parmi les 110 « PCC-pirates » (aucun droit de licence n'a été payé) de Barcelone, construits par Maquitrans, vu en 1970 Paseo Maragall. Bogies B 2 sans frein électro-magnétique. P. Malterre.

PCC de Rome avec équipement GE italienne et bogies B 2. Voitures en cours de conversion pour l'exploitation à agent seul. P. Malterre.







En haut à gauche :  
Un PCC Tatra « T 3 » du réseau de Moscou, vu en 1976. Pendant très longtemps les réseaux soviétiques n'ont acquis que des voitures à 2 portes, sans doute pour limiter les échanges thermiques en période d'hiver. Depuis le passage à un agent « Self-Service avec portes d'accès banalisées », les inconvénients de la formule sont apparus tels que toutes les commandes faites depuis 1978 portent sur des voitures à 3 portes. Noter le bogie B 3 et les roues type Carnegie « resilient ».  
P. Malterre.

Au centre à gauche :  
En 1978, une rame de 2 PCC « Jegorow » type LM 68 de Leningrad, avec au fond à droite, un PCC « LM 67 ». Ce réseau dispose de près de 2 000 PCC dont les bogies B 3 ont été livrés par Tatra.  
P. Malterre.

Ci-contre  
La réhabilitation : ce PCC de Toronto, livré en 1948, du type « tout électrique » avec caisse type 1945 à « standee windows » et porte décalée vers l'arrière, a fait l'objet d'une remise à neuf complète en 1977 et roulera, concurremment aux nouvelles voitures Hawker-Siddeley (licence suisse SFG) Garrett, jusque vers 1990.  
Photo TTC. — Collection G. Muller.

En haut à droite :  
Deux PCC Tatra « T 1 » du réseau d'Olomouc (Tchécoslovaquie), en 1967. Noter les dimensions réduites de la girouette et l'étoile rouge (disparue depuis).  
L. Reznicek.

En bas à droite :  
Un PCC Tatra « T 2 » du réseau de Pilsen, vu en 1974.  
P. Malterre.

plupart des pays du bloc oriental. Le seul réseau de Prague en utilise près de 1 000 et les réseaux de Moscou, Kiev, Kharkov, etc., en reçoivent régulièrement chacun une cinquantaine par an.

La voiture PCC Tatra a prouvé ses qualités en se comportant fort honorablement sous le climat sibérien et en acceptant, sur la plupart des réseaux soviétiques, tout à la fois des surcharges quasi-permanentes, l'insigne médiocrité des voies et un entretien fort sommaire. Sur le réseau de Prague, où les standards sont nettement meilleurs, le taux d'indisponibilité du parc Tatra n'excède pas 8 %.

Une sœur de la voiture Tatra est construite en Pologne, à Chorzow, pour l'équipement des réseaux de ce pays : Varsovie possède 1 000 PCC de ce type. La dernière version se caractérise par une carrosserie à 4 portes d'aspect très moderne.

Enfin, en Union Soviétique, plusieurs usines (Riga, Ural, Jegorow) construisent actuellement en séries importantes des motrices très nettement inspirées, pour l'essentiel, de la motrice PCC ; plusieurs milliers de ces voitures équipent les réseaux concurremment au matériel Tatra, l'usine tchèque livrant d'ailleurs les bogies B 3. Environ, tous cons-

tructeurs confondus, 20 000 PCC ou simili PCC circulent sur les quelques 120 réseaux de tramways d'U.R.S.S. et, chaque jour, une bonne dizaine de millions de Soviétiques vaquent à leurs occupations grâce à la technologie américaine.

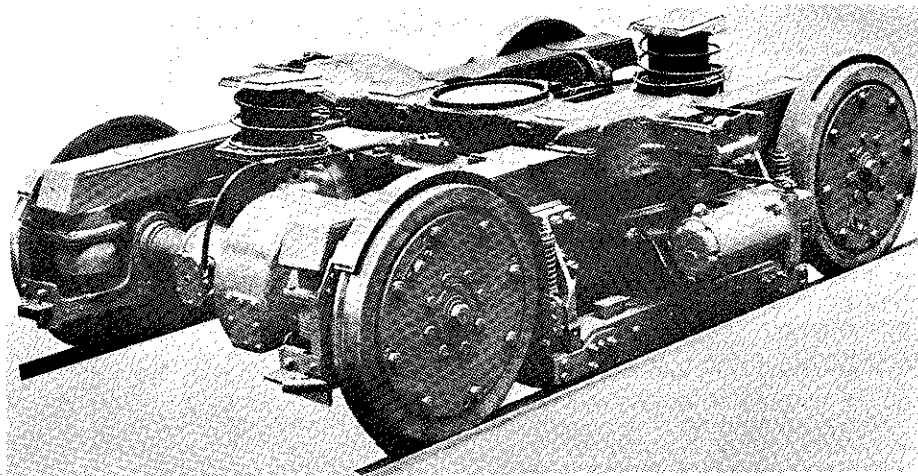
Si la production B.N./A.C.E.C. s'est toujours caractérisée, comme aux U.S.A., par une grande adaptabilité aux besoins réels des réseaux (gabarits différents, unis ou bidirectionnalité), la standardisation orientale est incomparablement plus rigoureuse. A l'exception du nouveau matériel en cours de construction pour Budapest, toutes les

voitures PCC Tatra sont rigoureusement identiques d'une ville à l'autre avec simplement les choix suivants : gabarit de 2,50 m ou 2,20 m ; 2 ou 3 portes ; aptitude ou non à la traction d'une remorque (celle-ci étant identique à la motrice) ; 4 rapports de démultiplication. Certes la finition de ces voitures n'égale pas celle du matériel occidental et les aménagements intérieurs sont plus utilitaires qu'élégants : mais les qualités fondamentales sont présentes et, selon toute vraisemblance, le matériel Tatra est vendu à un prix qui ne dépasse pas sensiblement celui de nos autobus les plus modernes. . .

Le travail de perfectionnement de la voiture PCC a été repris par les industriels européens. Depuis 1952, un dispositif inventé par les A.C.E.C. permet à ces motrices de rouler sur l'erre alors que l'équipement d'origine obligeait à rouler soit en traction, soit en freinage rhéostatique. Cette amélioration a permis de réduire d'environ 10% la consommation au prix, selon notre opinion personnelle, d'un établissement plus brutal du freinage rhéostatique ; Tatra n'a pas adopté ce dispositif. A partir de 1965, les deux entreprises ont introduit l'électronique dans les circuits à basse tension de commande et de contrôle, en remplacement de relais électromagnétiques. A la même époque, les A.C.E.C. ont remanié l'accélérateur Westinghouse pour démarrer avec les 4 moteurs couplés en série puis retrouver le couplage série-parallèle (les deux moteurs de chaque bogie étant en permanence couplés en série), alors que l'équipement PCC d'origine ne comportait que ce dernier couplage. Cette modification a permis une réduction supplémentaire de la consommation d'environ 10%. Tatra et les A.C.E.C. ont appliqué un dispositif d'antipatinage et anti-entrainement qui avait été conçu par la T.R.C., trop tard pour être monté sur les voitures de construction américaine.

B.N. a beaucoup travaillé sur les bogies. Le modèle B2 a reçu des ressorts en caoutchouc modernes grâce auxquels la suspension primaire assure le guidage des essieux : cela a permis la suppression des bras de parallélisme. Il a reçu aussi une suspension secondaire en caoutchouc, qui a éliminé les bielles de liaison entre châssis de bogie et traverse danseuse. Cet excellent bogie, léger et ne réclamant pratiquement pas d'entretien, équipe essentiellement des versions articulées sur lesquelles nous reviendrons. B.N. a aussi amélioré les bogies B3, montés sous la plupart des PCC à voie normale livrés par ce constructeur et les bogies B6 montés sous les PCC à voie métrique. Enfin, des roues SAB ou plus rarement Bochum (Marseille) ont pris le relais des roues Carnegie dont la fabrication a cessé vers 1960.

On peut dire que l'œuvre d'Herfeld a fort bien traversé le temps. L'auteur de ces lignes a eu professionnellement l'occasion d'étudier en détail cette voiture et il a dès lors mieux compris pourquoi elle exerce une véritable fascination sur ceux qui en ont la charge. L'intelligence et l'élégance des solutions retenues ont bien de quoi séduire et mieux on en analyse le fonctionnement, mieux apparaissent les détails ingénieux dont elle est si riche. L'attachement à la voiture PCC est si viv qu'aux U.S.A. plusieurs réseaux s'engagent dans des



Le plus récent bogie PCC « BN » reprend les dispositions essentielles du bogie B2, avec toutefois une suspension primaire par ressorts en caoutchouc de type « Clouth » permettant de supprimer les bras de parallélisme. Il y ajoute la suspension secondaire du modèle B3. Noter les longerons à section rectangulaire et non plus tubulaire et les roues élastiques SAB. Ce bogie, qui dérive directement du modèle B6 monté sous les PCC à voie métrique construit par BN, équipe les PCC articulés de Bruxelles, et ceux de La Haye en cours de livraison.

Photo BN.

programmes de remise à neuf de voitures construites il y a plus de trente ans et s'efforcent de conserver l'esprit du PCC dans les matériels neufs qu'ils commandent et qui incorporent les acquis de la technologie moderne. Les nouvelles voitures Kawasaki de Philadelphie et S.I.G./Hawker-Siddeley de Toronto en sont des exemples flagrants.

Alors que dans un usage de tramway urbain, aucun équipement conventionnel à contacteurs ou arbre à cames n'avait sérieusement pu contester la supériorité de l'équipement PCC en termes de performances, de confort et de souplesse de conduite - aucun n'a pu offrir cette caractéristique fondamentale de l'équipement PCC de passer de traction en freinage ou vice-versa par le simple jeu d'un battement de contacteurs en retrouvant instantanément la valeur adéquate du rhéostat inséré dans le circuit de puissance -, il ne fait à présent plus de doute que les équipements à thyristors (hacheurs ou onduleurs) ouvrent des possibilités encore plus étendues dans le contrôle de l'adhérence et la rapidité de réponse, avec une consommation réduite de 20 à 30% grâce à la suppression des pertes rhéostatiques et au freinage par récupération, et avec un entretien simplifié par la disparition des organes électromécaniques soumis à usure. Tatra commence à livrer ses motrices PCC avec un équipement à thyristors et le réseau de Prague l'a substitué à l'équipement d'origine sur une partie de son parc. Le réseau de La Haye, fidèle s'il en est à la conception PCC, conserve les bogies PCC sur ses 65 motrices articulées en construction, mais les dote de hacheurs. La cause paraît entendue.

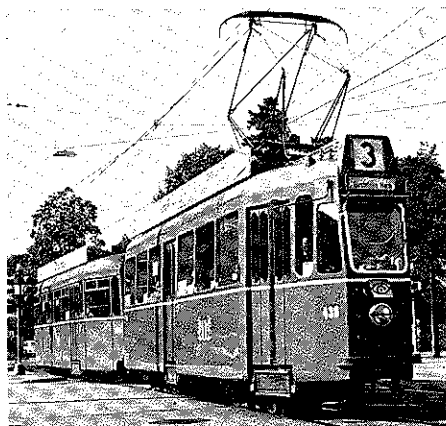
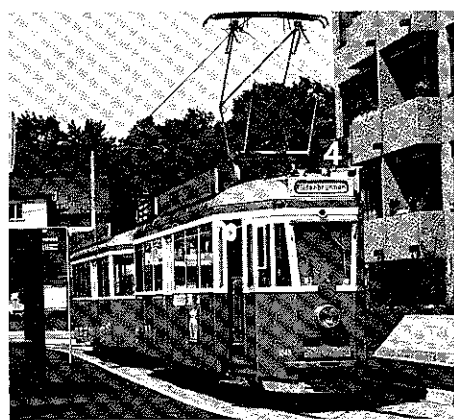
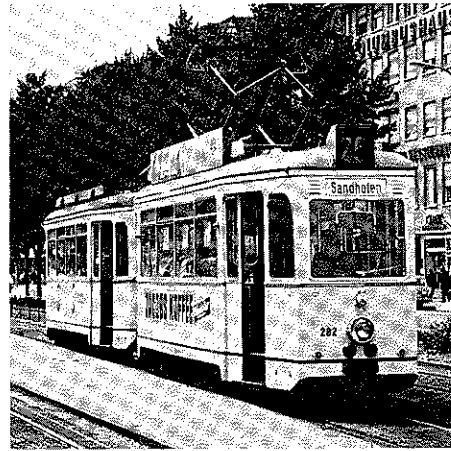
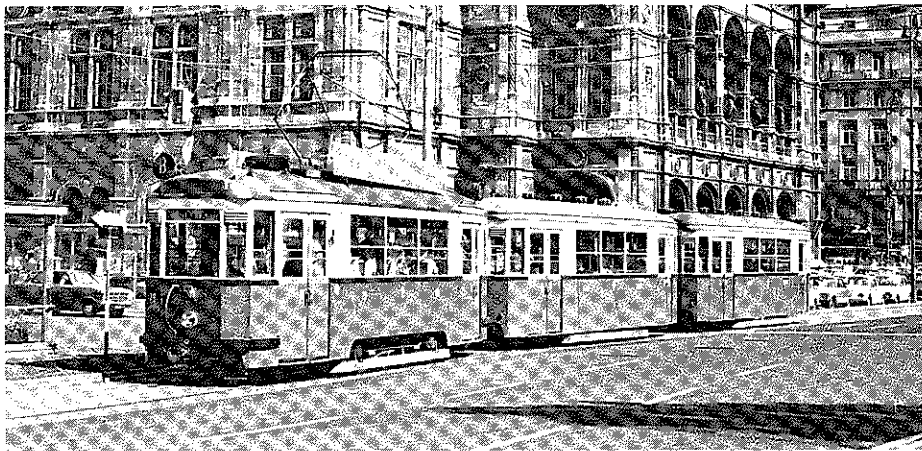
Pour la partie mécanique et précisément les bogies, on sera plus nuancé. Le bogie monomoteur offre des avantages de coût, de simplicité et de meilleure adhérence, le rendant préférable pour des matériels à adhérence partielle, ce qui est le cas de la plupart des voitures articulées modernes. Là où l'adhérence totale reste exigée pour des raisons de profil sévère ou de commodité d'exploitation, la technique PCC a l'avantage, grâce au faible encombrement vertical du bogie, de pouvoir

placer un bogie motorisé sous une articulation avec une hauteur de plancher maintenue à 860 mm. Sur le plan du confort et du silence de fonctionnement, les meilleures variantes de ce bogie ont pu finalement être égalées, mais rarement dépassées même au prix d'une suspension pneumatique qui oblige à réintroduire une installation d'air comprimé, peu souhaitable sur un véhicule urbain.

Enfin on peut estimer que la motrice PCC est de capacité unitaire insuffisante par rapport à l'autobus. L'inconvénient est pallié par la possibilité de circuler en rames de 2 ou 3 motrices, ce que font beaucoup de réseaux, mais il est vraisemblable que le véhicule articulé de grande capacité offre alors une formule plus avantageuse.

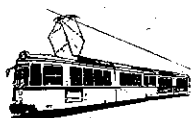
Comme sa réussite technique, la réussite commerciale de la motrice PCC ne fait aucun doute. Au moment de son introduction sur les réseaux américains, les hausses de trafic ont été générales, atteignant parfois 30 à 40% tant le public appréciait ses qualités. Et pourtant, force est de constater qu'en Amérique du Nord elle n'a pu empêcher, à partir des années 50, l'effondrement généralisé du transport public - à quelques exceptions près -. La concurrence de la voiture particulière a entraîné une telle désaffection du transport en commun que l'autobus est très vite apparu partout comme mieux adapté aux niveaux de trafic qu'il restait à assurer. La suite de l'histoire est connue : fréquentation et qualité du service n'ont cessé de baisser en spirale jusqu'au collapsus des réseaux privés et à leur reprise par la puissance publique, le redressement s'engageant depuis quelques années seulement.

A quelques exceptions près, avons-nous écrit. Le désastre a en effet relativement épargné les villes caractérisées par un centre dense, à l'européenne, et dotées d'un système de transport largement en site propre (métros des plus grandes cités) ou protégé. Les réseaux de tramways de Boston, Cleveland, (Shaker Heights), la Nouvelle-Orléans, Newark, Philadelphie, Pittsburgh, San Francisco, Toronto - toutes villes répondant au moins à l'un des



critères ci-dessus - ont pu subsister, parfois avec de terribles amputations et parfois dans un état proche du délabrement, et souvent les motrices PCC ont continué à circuler en rames de 2 ou 3 voitures. Depuis 1973, l'avenir de ces réseaux n'est plus menacé et on commence à rattraper 25 ans de non-investissement, effort qui risque malheureusement d'être ralenti par l'administration Reagan...

Puisque ces conditions ont permis à ces réseaux de traverser une période où l'on ne pouvait imaginer environnement plus défavorable au transport collectif, c'est bien qu'elles mettent en exergue le créneau du transport sur rail : site propre ou site protégé (ou à défaut banal dans une circulation organisée en fonction du transport public), demande de trafic suffisante pour justifier de rames de 200 à 300 places en heures de pointe. Après le déclin de l'influence américaine en matière de transport urbain, ce sont la Suisse et l'Allemagne qui devaient désormais le mieux s'engager dans cette voie, en se rapprochant peu à peu des standards techniques établis par la voiture PCC.



### L'apparition du matériel à très haute capacité

Par rapport à la motrice Peter Witt, la motrice PCC n'a pas apporté de gain marquant pour la capacité de transport, mise à part la possibilité, peu utilisée en Europe Occidentale, de circuler en rames de 2 ou 3 motrices fonctionnant en unités multiples.

Or en matière de transports urbains, il existe deux méthodes fondamentales d'adapter l'offre de transport à une demande variable au fil de la journée :

— soit utiliser des véhicules isolés (ou des rames indéformables) et jouer sur la fréquence des départs, donc sur le nombre de services en ligne,

— soit maintenir un cadencement des départs constant presque tout au long de la journée et jouer sur la composition des rames.

Les réseaux de tramways belges et italiens utilisent la première méthode, seule autorisée par la force des choses aux réseaux d'autobus. Elle est réputée économique car elle est effectivement très souple, la contrainte principale étant le respect des conditions de travail (amplitudes, coupures, etc.) du personnel. L'inconvénient réside dans l'ignorance pour le public des horaires réels, qu'il est très difficile de pallier par une information efficace.

La seconde méthode est chère aux réseaux suisses et allemands, essentiellement en raison

de la qualité de service qu'elle procure : en effet, le cadencement (par exemple 6, 10 ou 12 minutes) est très facilement connu du public ; il acquiert l'impression d'un réseau fonctionnant comme un grand mouvement d'horlogerie si l'ensemble des lignes suit le même cadencement (ou un multiple). Pour ne pas tomber à des intervalles trop bas, il faut, sur les fortes lignes, des rames de grande capacité pour écouler la demande à l'heure de pointe.

1972 : rame de 3 voitures à 2 essieux à Vienne (construction 1950) offrant 40 % de masse adhérente seulement. Malgré leur silence et leur confort, c'est bien la fin d'une formule.

P. Malterre.  
1964 : Mannheim. Rame « Verbandstyp » de 1954. C'est la fin du tramway à 2 essieux. Ce matériel sera retiré du service en 1970.

P. Malterre.

1979 : Zurich, terminus de Verdöhlzli avec une voiture « légère » et sa remorque en service depuis 40 ans ! Emmarchement pratique, service à un seul agent depuis 1965.

P. Malterre.

Rame Schlieren/BBC de Bâle. Les séries livrées en 1966 disposent de la suspension pneumatique et d'un équipement Siemens à contacteurs.

J.M. Frybourg.

Avec des rames formées d'une motrice et de deux remorques à essieux parallèles, on a pu atteindre, dès les années 30, 160 à 200 places, chiffres nettement supérieurs à la capacité de la voiture PCC ; utiliser celle-ci en unités multiples pour la seule période de pointe eût conduit à un sur-investissement. Par ailleurs, il existait depuis fort longtemps sur les réseaux allemands une proportion non négligeable de sites protégés sur lesquels un matériel classique pouvait développer une vitesse commerciale satisfaisante sans qu'il fut nécessaire de recourir aux accélérations brillantes et coûteuses du matériel PCC. Enfin, « the last but not the least » ; l'industrie s'y opposa : en Allemagne ni Siemens, ni A.E.G., en Suisse ni Brown-Boveri, ni Oerlikon, ni Sécheron, ne souhaitaient devenir de simples licenciés de General Electric ou de Westinghouse. Tout ceci explique fort bien la réaction de rejet à l'égard de la voiture Peter Witt, puis PCC.

Au demeurant, les réseaux allemands avaient dès avant 1939 poussé à un haut degré de perfectionnement le matériel à essieux parallèles. Les motrices avaient été pourvues de moteurs modernes et puissants et d'un équipement électrique extrêmement simple (contrôleur à arbre à cames à commande manuelle) donnant déjà une vingtaine de crans en traction et autant en freinage rhéostatique (utilisé comme frein de service normal) et ne réclamant qu'un entretien très réduit par rapport aux anciens contrôleurs à segments utilisés par exemple sur le matériel de la S.T.C.R.P. Les remorques étaient freinées par des solénoïdes alimentés par le courant de freinage rhéostatique et toutes les voitures disposaient du frein électromagnétique sur rails, si bien que, sauf dans le cas de villes très accidentées comme Stuttgart, il avait été jugé superflu d'installer un frein à air comprimé.

Les voitures étaient entièrement métalliques et offraient un plancher dont la hauteur ne dépassait pas 900 mm, parfois moins. Des progrès considérables avaient été faits dans la suspension et le silence de fonctionnement, sans déroger des schémas les plus classiques, mais en perfectionnant les solutions techniques de réalisation.

Ce type de matériel, simple, d'entretien économique et remarquablement fiable devait rester en faveur bien après les hostilités et donner lieu à divers développements : voitures dites de guerre (Kriegsstrassenbahnwagen) construites à 663 exemplaires de 1944 à 1947, ensuite voitures « reconstruction » (Aufbau) 593 exemplaires construits de 1947 à 1950, voitures « unifiées » (Verbandstyp) 442 exemplaires construits jusqu'en 1953. Vint un jour où les réseaux allemands s'aperçurent que ce matériel était devenu économiquement insoutenable avec ses 4 agents pour 180 places...

Si l'évolution des réseaux allemands fut contrariée par les hostilités, ce fut le contraire en Suisse. D'abord en 1939, le matériel y était beaucoup plus vétuste et exigeait un renouvellement général urgent. Puis le trafic se mit à croître au moment où une pénurie,

aigüe de personnel s'installait. Enfin, l'industrie suisse restait disponible pour des fabrications civiles.

Les réseaux, sans doute instruits des bons résultats de l'expérience américaine, se regroupèrent au sein de l'Union Fédérale des Transports et convinrent d'abord de la nécessité de passer à une capacité unitaire et à une vitesse commerciale accrues, d'où l'abandon du matériel à essieux parallèles au profit de voitures à bogies mieux adaptées aux tracés sinueux des lignes suisses.

Deux types furent définis : un type de motrice à bogies « légère », fortement inspirée de la voiture PCC, devant circuler seule ou avec une remorque à bogies sur des lignes à profil facile, un type de motrice « mi-lourde », plus puissante capable de tirer cette remorque sur les lignes les plus difficiles.(7)

Electriquement, on adopta bien sûr l'adhérence totale pour les motrices avec 4 moteurs commandés par des équipements à contacteurs électromagnétiques ou électropneumatiques selon le constructeur électricien, donnant une vingtaine de crans en traction comme en freinage. Ces équipements étaient à commande directe par un petit contrôleur-pilote à main ou à pied, sans automatisme, c'est-à-dire simple et sûr, mais en retrait par rapport aux équipements PCC. L'air comprimé assurait le fonctionnement de tous les auxiliaires.

Mécaniquement, l'industrie suisse réussit de remarquables séries de bogies particulièrement compacts où les masses non suspendues étaient réduites au minimum grâce à l'incorporation des moteurs dans le châssis et le montage de transmissions élastiques à divers types ; les suspensions firent appel à des solutions nouvelles, telles que les barres de torsion (bogies Simplex). L'industrie suisse adopta un nouveau type de roue élastique de conception suédoise (S.A.B.). Enfin, les caisses furent construites en acier avec un souci considérable d'allègement, donc en utilisant des revêtements en aluminium. On réussit même ainsi à fabriquer

(7) Voir à ce sujet « Chemins de fer » n° 137.

des remorques de 100 places pesant environ 9 tonnes et même moins en réalisant des caisses en magnésium (remorques de Zurich). Tous ces matériels se révélèrent satisfaisants, sans pour autant égaler les voitures PCC en douceur de roulement et surtout en silence de fonctionnement.

Ces voitures étaient toutes prévues pour une exploitation avec receveur assis à l'arrière, selon le schéma adopté depuis 1938 sur tous les véhicules italiens. Ces aménagements furent facilités par l'adoption de voitures unidirectionnelles. Le plancher fut maintenu à une hauteur de 900 mm environ, mais l'accès était facilité par des marchepieds pliants solidaires du mécanisme de portes, selon un système fort simple déjà appliqué en 1929 sur la motrice Peter Witt et qui, malgré ses qualités, n'a presque jamais réussi à sortir des frontières helvétiques, jusqu'à présent tout au moins.

Une fois réparés les dommages dus aux bombardements, les plus dynamiques des réseaux allemands se prirent d'intérêt pour l'exemple suisse. Le premier fut Hambourg qui réalisa en 1949, dans ses propres ateliers, une rame prototype « motrice + remorque » avec receveurs assis et sens unique de marche. Il la fit ensuite reproduire à raison de 193 motrices et 170 remorques par l'industrie régionale.

L'inspiration suisse était évidente : mêmes dispositions générales, mêmes solutions mécaniques, même aménagement des portes et de la circulation intérieure des voyageurs de l'arrière vers l'avant, mais par contre un équipement électrique très simple (contrôleur à arbre à cames à commande manuelle) et absence de toute installation d'air comprimé. 231 voyageurs pouvaient être transportés avec 3 agents seulement. Le succès de ce matériel fut remarquable. Converti en 1966-1967 à l'exploitation à agent seul, il a assuré dans d'excellentes conditions le service jusqu'à l'extinction du réseau en 1978.

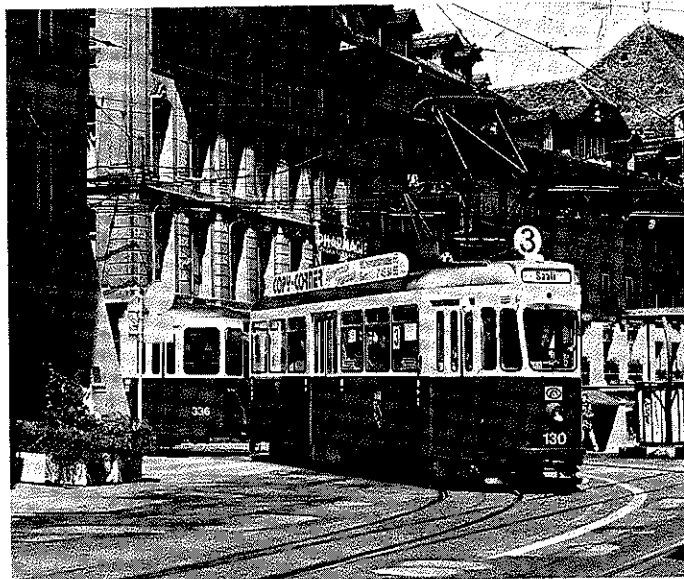
Hanovre, Düsseldorf et Essen, mirent en service, à quelques mois d'intervalle courant

Ci-dessous :

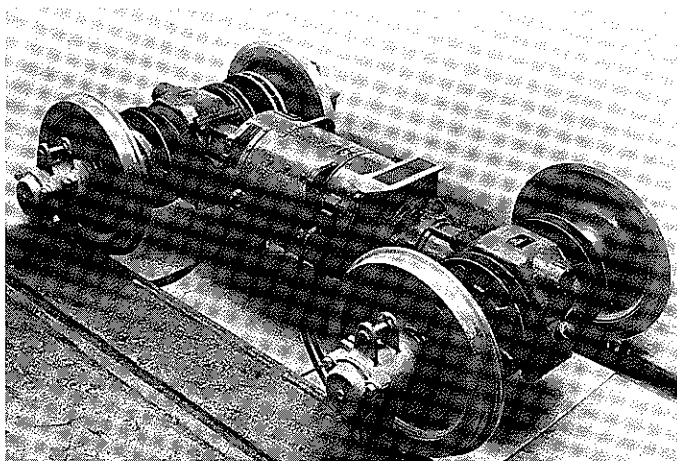
Une rame « Grossraumwagen » de Hambourg, vue en 1954 à proximité de la Gare Centrale. Ces voitures ont été converties plus tard à l'exploitation à un seul agent avec élargissement de la porte avant. La perche a été conservée jusqu'à la fin du réseau, mais elle a été dotée d'une commande hydraulique d'abaissement et de relevage. P. Malterre.

A droite :

Une rame à grande capacité de Berne, construite vers 1960, négociant une courbe de 18 m de rayon. J.M. Frybourg.







A gauche :

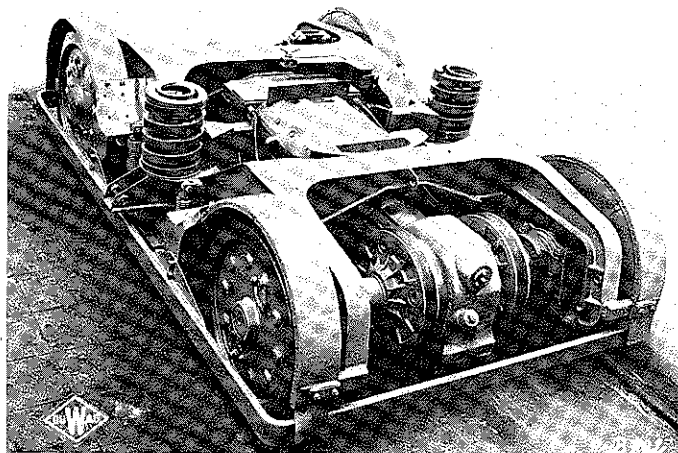
Une version à voie métrique des premiers bogies Düwag. On ne voit ici que le train roulant formé du moteur, des ponts, des disques en caoutchouc assurant la liaison entre ponts et essieux et la suspension de l'ensemble ponts-moteur de traction. Les roues ne sont pas élastiques et la suspension primaire fait encore appel à des ressorts à lames.

Photo Siemens — Archives G. Scholtis.

A droite :

Un des premiers bogies monomoteurs Düwag, montés sous les nouvelles motrices articulées livrées en 1956. On remarque les disques en caoutchouc assurant la liaison entre ponts et essieux et la suspension de l'ensemble ponts-moteur de traction. Les roues élastiques « Klockner » ont depuis été remplacées par des roues Bochum.

Photo Düwag — Archives G. Scholtis.



1951, leurs premières rames à grande capacité (Grossraumwagen) conçues selon le même schéma d'exploitation et fabriquées par l'usine Düwag selon un modèle déjà très unifié dans ses dispositions générales et dans ses composants essentiels (procédés de construction, bogies, portes, etc.). Avec les voitures de Düsseldorf apparaissait un nouveau type de bogie, monomoteur, avec une transmission par ponts Rheinstahl à arbre creux et disques en caoutchouc assurant la suspension de l'ensemble moteur-ponts. Moins doux et sans doute plus agressif pour la voie que le bogie PCC, probablement à cause de la liaison mécanique entre les essieux et de la suspension sommaire du moteur, le bogie Düwag l'a égalé en silence de marche et en fiabilité. Après une mise au point difficile, ce bogie devait connaître une réussite fulgurante et contribuer à asseoir la suprématie de la Düwag sur tous ses concurrents allemands.

A partir de 1952-1953, pratiquement toutes les grandes villes allemandes adoptèrent le type « Grossraumwagen » dont il fut construit, jusqu'en 1958, 923 motrices (dont 471 par Düwag) et 1 244 remorques (dont 300 par Düwag). La productivité du personnel

fit comme en Suisse un bond remarquable puisqu'avec 3 agents on pouvait dès lors transporter 230 à 240 voyageurs, dans des conditions de confort supérieures à celles du meilleur matériel à deux essieux. La plupart des rames « Grossraumwagen » ont été converties entre 1966 et 1970 à l'exploitation par agent seul. Actuellement, moins de la moitié du parc est encore en service et les rangs des « Grossraumwagen » vont rapidement en déclinant. Il y a plusieurs raisons à cela, dont voici les principales :

- la disparition des tramways de Hambourg ;
- la conversion, intervenue entre 1960 et 1970, d'un certain nombre de rames en voitures articulées ;
- le vieillissement des caisses et notamment les dégâts dus à la corrosion, qui nécessiteraient des réparations trop coûteuses sur un matériel vieux de 25 ans ;
- la réduction de taille de nombreux réseaux, notamment à la faveur des mises en souterrain entraînant une contraction du parc.

Dans certains cas (Karlsruhe), bogies et équipements électriques sont réutilisés sur des voitures articulées nouvelles.

Une nouvelle étape, particulièrement importante car elle devait marquer le matériel roulant pour les décennies à venir et assurer à la production allemande un leadership incontestable, fut franchie lorsqu'en mars 1956 les réseaux de Düsseldorf et de Bochum-Gelsenkirchen mirent en service leurs premières motrices articulées à 2 caisses sur 3 bogies. Certes l'idée n'était pas nouvelle : mis à part les bricolages réalisés avec des voitures à 2 essieux, sur lesquels nous serons amenés à revenir, des motrices articulées à bogies avaient déjà été essayées par les réseaux américains de Baltimore, Chicago et Cleveland vers 1925, par le réseau de Duisburg en 1926 et, plus près de nous, le Directeur du réseau suburbain de Rome, Urbinati, avait conçu en 1939 un modèle d'articulation particulièrement ingénieux qui fut appliqué sur des voitures des réseaux urbains et suburbains de cette ville (matériel Stanga, toujours en pleine activité), et de Gênes (ultérieurement revendues à Neuchâtel) dans les années 40. En Hollande, Rotterdam acheta une série de voitures à articulation Urbinati. On se rappelle aussi l'essai d'une motrice articulée à Marseille transformée à partir de 2 voitures à bogies anciennes, en 1949, avec un système d'articulation « fabriqué maison » qui fonctionna correctement.

Ces systèmes avaient plusieurs défauts, soit de réduire considérablement la largeur utile au droit de l'articulation, rendant difficile le passage d'une caisse à l'autre, soit la complication des mécanismes et le nombre d'axes, pivots, pièces en frottement relatif, etc., nécessitant un entretien coûteux. Enfin, ces articulations laissaient en général passer les mouvements de torsion d'une caisse par rapport à l'autre, d'où une qualité de roulement fort quelconque.

Ce fut le mérite de la Düwag de réaliser une articulation simple, grâce à l'utilisation d'une grande couronne à billes (développée à partir d'une tourelle construite pendant la guerre pour la fixation de canons et mitrailleuses d'avions) remplaçant les pivots traditionnels, pratiquement rigide en torsion,

Le hall de montage des tramways à l'usine Düwag en juillet 1966.

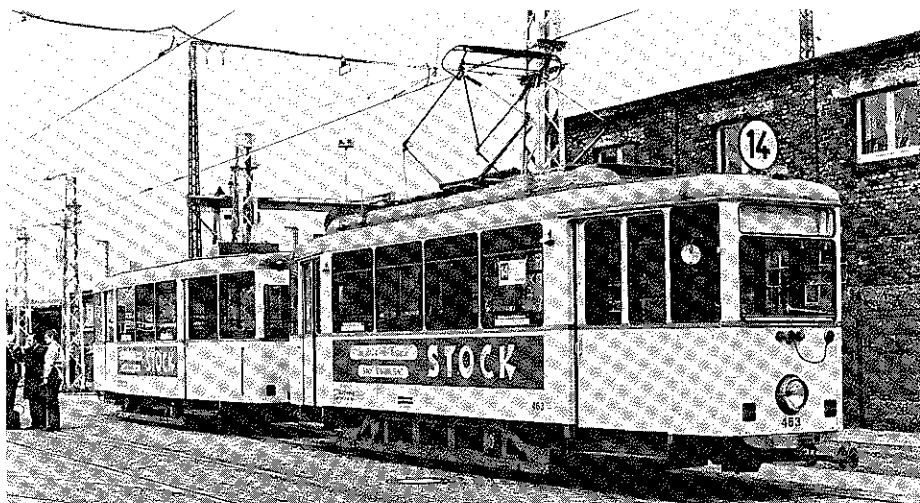
M. Mertens.



presque totalement étanche et ne diminuant pas sensiblement la largeur intérieure du passage. Cette articulation devait constituer une réussite tout à fait remarquable.

La nouvelle voiture articulée offrait 194 places pour 2 agents, soit une productivité encore jamais atteinte. Dès 1957, il apparut une variante à 3 caisses sur 4 bogies, de nouveau pour Düsseldorf, offrant 248 places pour 2 agents. De plus, on s'aperçut qu'il était très facile d'atteler une remorque « Grossraumwagen » à une motrice articulée, d'où un train de 300 places pour 3 agents si la motrice était à 2 caisses, de 350 places pour 3 agents si la motrice était à 3 caisses. De ce fait, tous les réseaux allemands abandonnèrent la formule « Grossraumwagen » et, à partir de 1956-1957, s'équipèrent exclusivement de motrices articulées.

Dans ce marché, la firme Düwag se tailla la part du lion car elle offrait, outre l'articulation, un bogie parfaitement au point, une construction de caisse standardisée dans ses principes et s'adaptant à toutes les contraintes de gabarit, de 2,20 m à 2,50 m, et même d'uni ou bi-directionnalité, ainsi que nombre d'éléments dont la fiabilité est impérative en service urbain, tels que les portes pliantes à commande électrique. Les équipements électriques furent partagés entre Kiepe, Siemens, A.E.G. et Brown-Boveri, et demeurèrent la plupart du temps parfaitement classiques (contrôleurs à arbre à cames à commande manuelle par levier, pédale ou manivelle), le frein rhéostatique étant utilisé comme frein de service normal et un frein mécanique sur disques à commande manuelle servant à l'immobilisation de la voiture. Très souvent les essieux du bogie porteur n'étaient pas freinés. Par contre, tous les bogies étaient munis de freins électromagnétiques sur rails, rendus à cette époque obligatoires par le Ministère Fédéral des Transports. Les accélérations obtenues avec ce matériel à



Une rame classique de l'après-guerre des tramways de Francfort. Ce matériel, photographié en mai 1977, a totalement disparu à l'exception d'une rame touristique (Ebbelwei express) qui dessert le quartier des guinguettes de Sachsenhausen. M. Mertens.

adhérence partielle étaient moins brillantes que celles des PCC, mais largement suffisantes pour obtenir, notamment sur les lignes bénéficiant de sites protégés, des vitesses commerciales attractives avec une consommation d'énergie et des frais d'entretien inférieurs à ceux de la voiture américaine. Par ailleurs l'équipement électrique garantissait par principe même l'établissement et la suppression progressifs des efforts de traction et de freinage, d'où un excellent confort pour le voyageur debout.

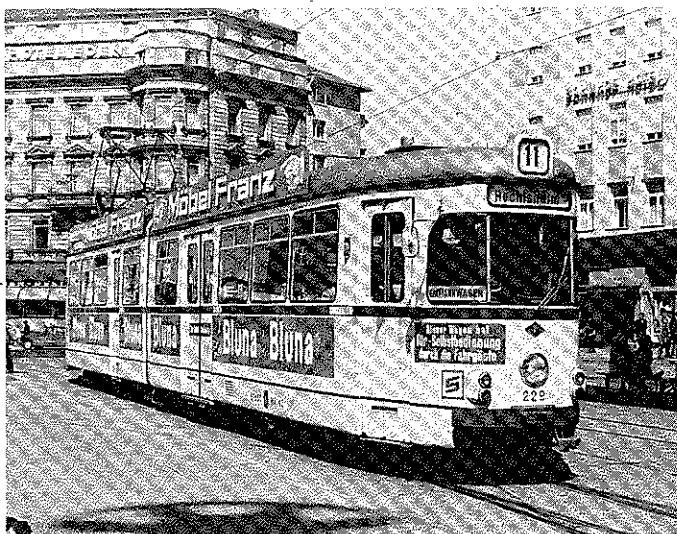
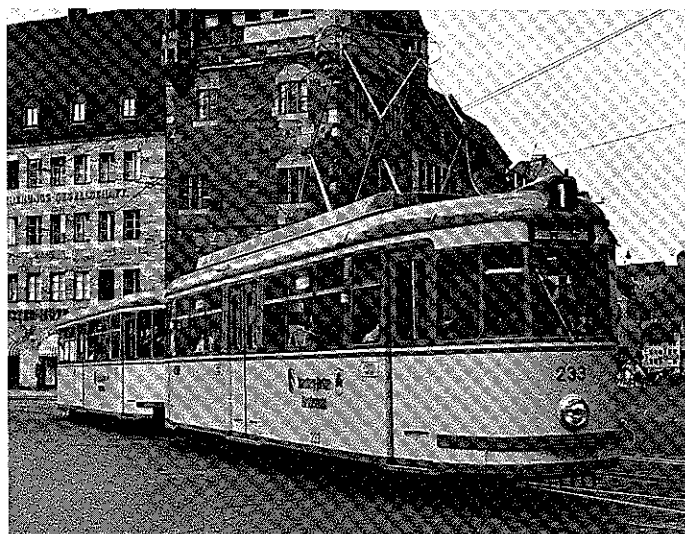
Au total, 1 355 motrices articulées Düwag à 6 essieux et à 8 essieux furent construites de 1956 à 1975. Souvent les motrices à 6 essieux (2 caisses) furent transformées ensuite par adjonction d'un bogie et d'un élément central en motrice à 8 essieux, sans qu'il fût nécessaire de modifier l'équipement électrique. Düwag exporta ce type de matériel à Copenhague (elles furent revendues ensuite à Alexandrie

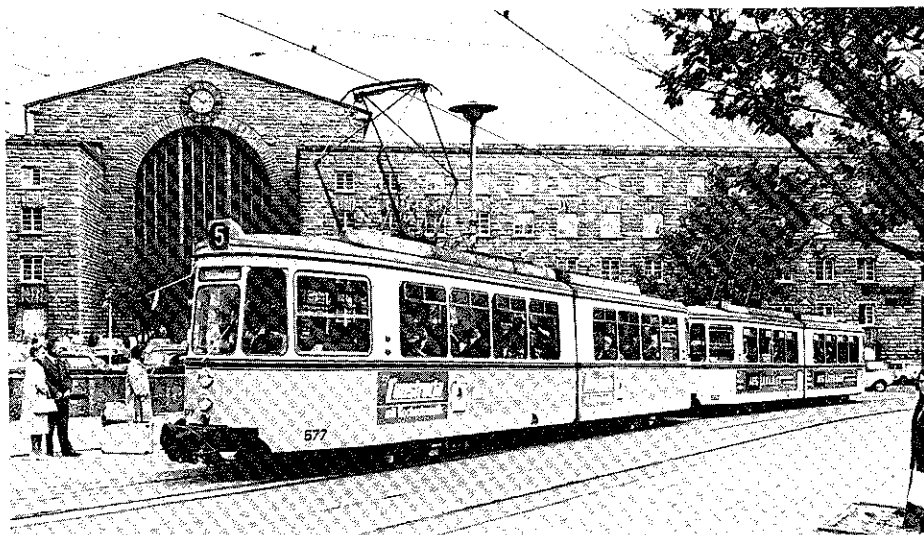
où elles résistent semble-t-il assez bien aux normes égyptiennes d'utilisation et d'entretien) et à Rotterdam. En Autriche, Düwag céda les licences de fabrication à SGP et à Bombardier-Rotax et ce matériel équipe maintenant les réseaux de Vienne, Graz, Innsbruck et Linz.

Nous avons évoqué la souplesse d'adaptation de la Düwag pour répondre aux demandes de ses clients sans pour autant renoncer à ses méthodes de fabrication et à ses composants essentiels. De fait, la variété du matériel articulé est étonnante : portes des deux côtés ou d'un seul, aménagements intérieurs très différents, puissance des moteurs variant de 90 à 180 kW, montage éventuel du frein à air comprimé, etc. On retrouve ici les atouts utilisés quinze ans plus tôt par les constructeurs du PCC.

Dérogeant aux variantes habituelles, nous citerons le matériel articulé de Linz qui a commencé sa carrière comme motrice à 2

A gauche : En 1958, une rame « Grossraumwagen » de Nuremberg, dans le centre historique reconstruit à l'identique après la guerre. Les bogies et les portes sont de Düwag, mais la caisse est de MAN.  
A droite : Matériel Düwag articulé bi-directionnel pour voie métrique, vu à Mayence en 1970. Cette ville de 170.000 habitants s'apprête à renouveler son parc avec des motrices unifiées « Stadtbahn M ».  
Photo MAN - Archives G. Muller.  
A. Gache





Sans bogie d'articulation centrale, une rame de 2 motrices Esslingen GT 4 de Stuttgart vue ici devant la Gare Centrale en 1965, sur une section depuis longtemps passée en souterrain. Chaque bogie n'a qu'un essieu moteur et malgré cela les rampes de 75 %, du réseau sont gravies avec aisance.

M. Mertens.

caisses pour passer à 3 et enfin à 4 caisses (10 essieux dont 4 moteurs) avec une capacité de l'ordre de 300 places. A Mannheim (réseau Rhein-Haardt-Bahn), circulent des motrices articulées à 5 caisses (12 essieux) affectées à un service suburbain. Les motrices livrées à Mannheim (réseau urbain), à Duisburg, Braunschweig et Freiburg, à partir de 1970, se caractérisent par une esthétique améliorée avec une augmentation de la hauteur des baies latérales. Celles livrées à cette dernière ville sont tout à fait inhabituelles car c'est l'élément central de ces voitures à 4 bogies qui porte les 2 bogies intermédiaires, décalés par rapport aux articulations : cette disposition spéciale a été rendue nécessaire par le souhait du réseau d'avoir l'adhérence totale, ce qui avec le bogie Düwag disposé normalement sous articulation n'est pas possible du fait de l'encombrement du moteur (c'est, par contre, réalisé avec les voitures articulées PCC de la Brugeoise).

Probablement par souci de faire travailler l'industrie régionale, quelques réseaux ont soit fait sous-traiter localement la production sur plans Düwag (Nuremberg avec Man, Hanovre avec Linke-Hoffmann-Busch), soit développé

(ou fait développer) des modèles totalement différents. Ainsi Brême avec Hansa et Munich avec Rathgeber ont fait construire des rames articulées « motrice + remorque » tout à fait originales puisque chaque voiture ne porte que 2 bogies, l'articulation étant obtenue par un très ingénieux système de tringlerie qui causa sans doute beaucoup de soucis pour sa mise au point, mais donne, notamment sur les dernières séries de Brême à suspension pneumatique, des résultats excellents, au moins sur le plan du confort sinon de l'entretien.

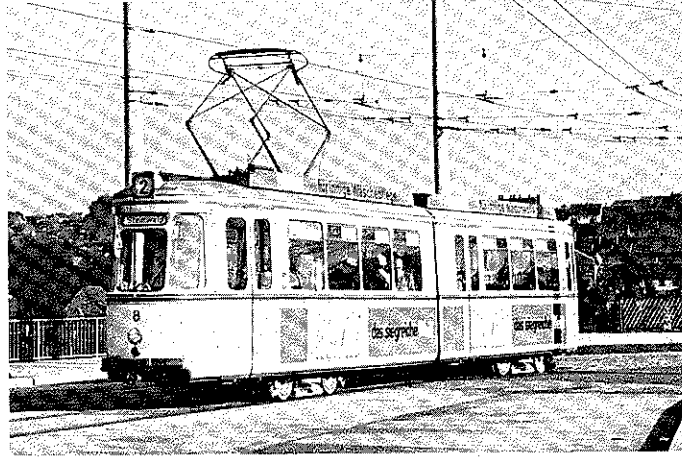
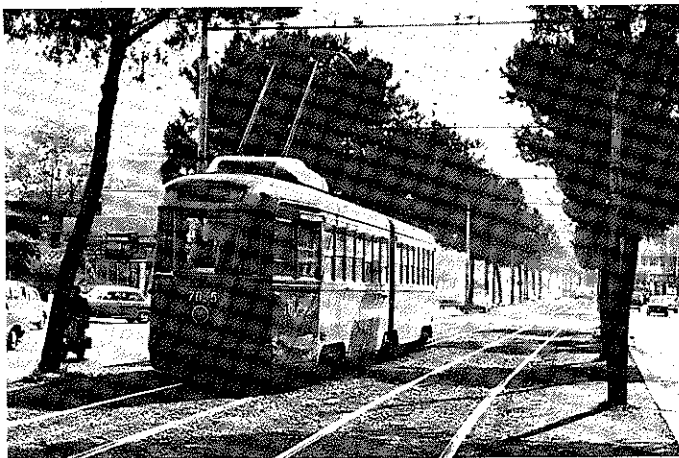
De même Stuttgart fit réaliser par Esslingen, selon une solution toute différente, des motrices articulées avec un essieu moteur par bogie et deux bogies seulement, à pivots décalés, reliés l'un à l'autre par une poutre sur laquelle la caisse s'articule : 350 voitures de ce type exploitent le réseau, avec de bons résultats, mais d'assez fortes usures de boudins. Ce type de voiture exploite un réseau dont la rampe fondamentale est de 70 %, malgré leur adhérence partielle.

La véritable prolifération du matériel articulé en Allemagne ne pouvait laisser les autres constructeurs indifférents. L'industrie suisse

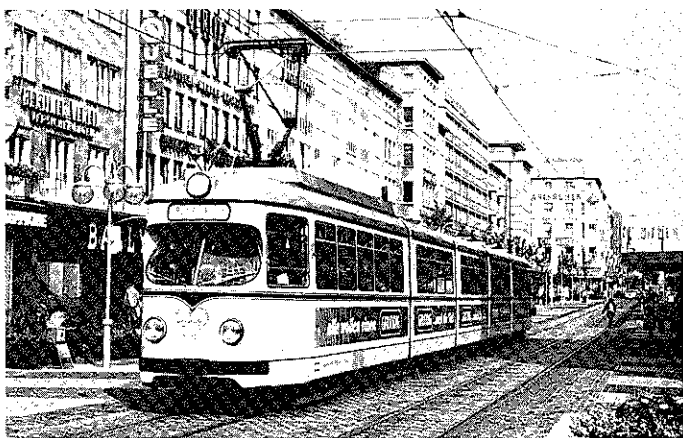
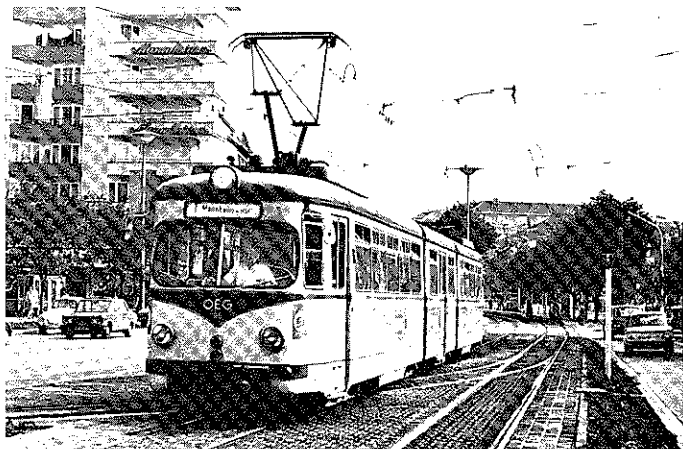
développa, en 1966, un nouveau type de voiture à 3 caisses pour Zurich avec 3 bogies seulement, le bogie-porteur étant placé sous la caisse médiane. 126 voitures de ce type (90 motrices et 36 « remorques motorisées », c'est-à-dire des motrices sans poste de conduite) furent livrées : elles circulent habituellement par paires, offrant 330 places pour un seul agent. Bâle préféra par contre le matériel allemand moins onéreux, sauf pour les séries les plus récemment livrées. Les Italiens améliorèrent le système d'articulation qu'ils avaient développé et sortirent pour Milan des séries de motrices pourvues d'un équipement électrique apparemment plus évolué que celui choisi par la moyenne des réseaux allemands mais réintroduisant malheureusement la coupure brusque de l'effort de traction.

La Brugeoise et Nivelles chercha à adopter la technique PCC à du matériel articulé, d'abord avec des voitures à adhérence partielle (2 caisses sur 3 bogies PCC dont un porteur) qui donnèrent à Bruxelles et à Saint-Etienne des résultats assez décevants sur le plan de l'adhérence (ceci montra a contrario, malgré la finesse de réglage de l'équipement PCC, la supériorité du bogie monomoteur). Le succès ne fut obtenu qu'avec des rames à adhérence totale (6 essieux moteurs), avec des bogies retenant l'essentiel des dispositions de la voiture PCC. 66 motrices unidirectionnelles et 30 bi-directionnelles à 3 caisses furent livrées au réseau de Bruxelles. Dans ces voitures, il y a en fait 2 équipements PCC, l'un contrôlant les 4 moteurs des bogies extrêmes, qui peuvent être couplés en série ou en série parallèle, l'autre les 2 moteurs du bogie central, couplés en permanence en série. Enfin en 1977, B.N. sortit une dernière variante à 3 caisses (4 bogies moteurs), d'une esthétique améliorée, qui électriquement se compose de 2 motrices PCC en unité multiple. Ces 61 voitures de Bruxelles représentent sans doute le chant du cygne de la pure technique PCC en Europe.

A gauche : 1973 - Rome - Site propre des lignes 12 et 14. Motrice articulée Stanga de 1950. Ces voitures ont été converties à un agent. Elles assurent un service particulièrement satisfaisant, illustrant la qualité des solutions retenues à l'époque. P. Malterre.  
A droite : 1963 - Neunkirchen. Matériel articulé à deux caisses sur 2 bogies, mais à adhérence totale car sur ce réseau supprimé en 1978, existait une longue rampe de 112 % sur laquelle il n'y a jamais eu d'incident. P. Malterre.







Colonne de gauche, de haut en bas (P. Malterre) : Motrice articulée Düwag de largeur 2,50 m, bi-directionnelle du réseau OEG (Mannheim-Heidelberg) dans les rues de Mannheim.

Un serpent de rue : une des 4 motrices articulées Düwag à 2 bogies extrêmes moteurs et à 5 caisses du réseau Rhein-Hardt-Bahn dans une rue « piétons + tramways » de Mannheim, 1965. St-Etienne : L'un des 5 PCC articulés qui souffrent de n'avoir pas l'adhérence totale.

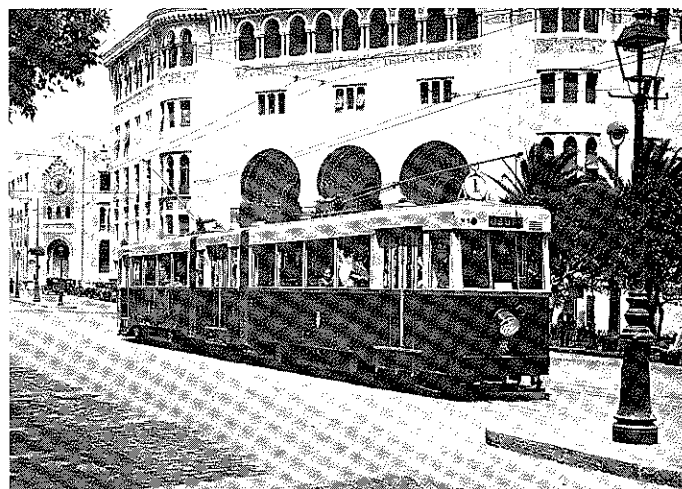
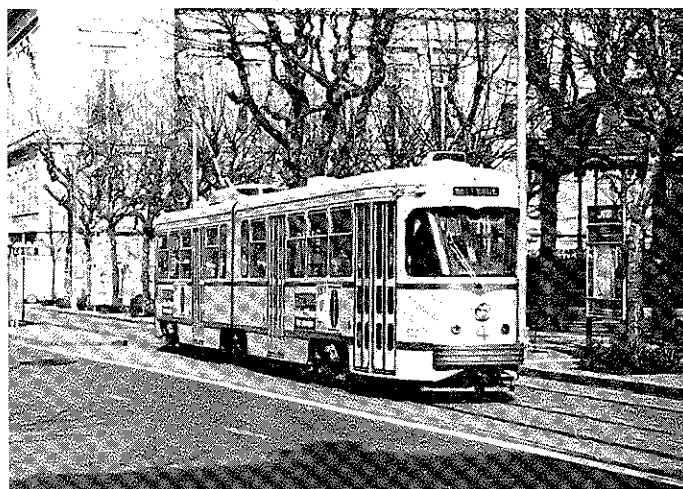
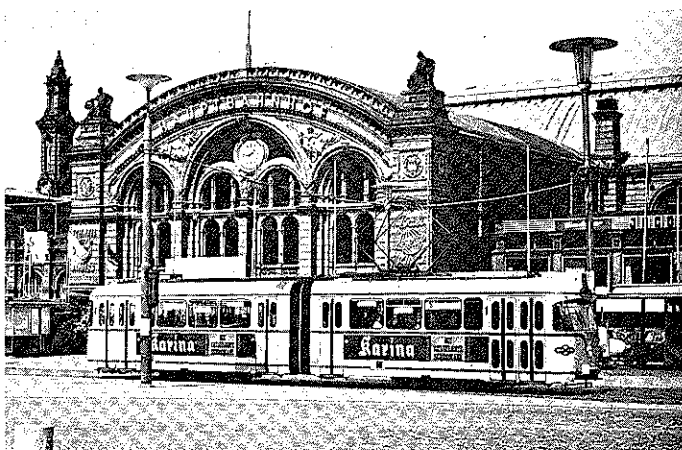
Colonne de droite, de haut en bas :

Zurich : rame de 2 motrices articulées à 3 caisses construites en 1966 : un agent pour 330 places. Depuis 1980 cette place est entièrement réservée aux tramways et aux piétons.

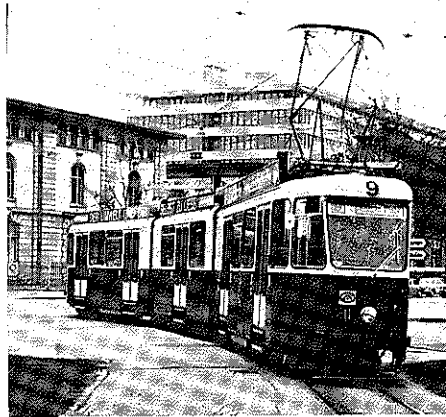
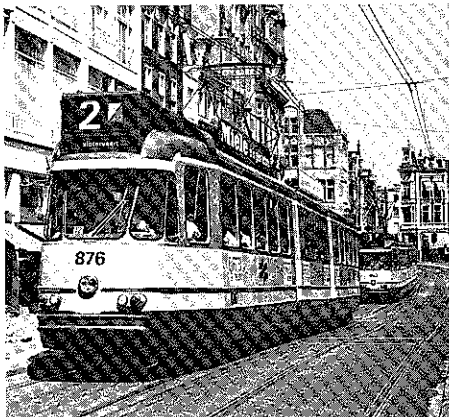
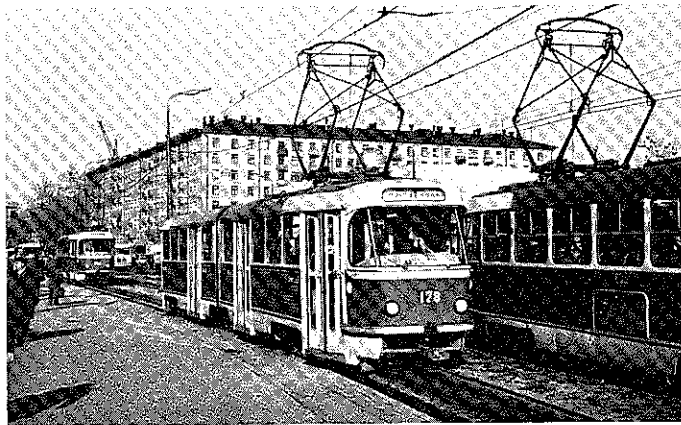
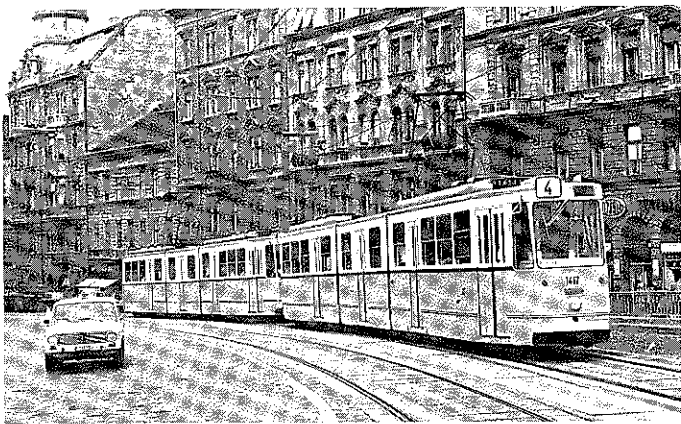
Oerlikon. Archives G. Muller. Motrice « Hansa » de Brême sans bogie sous l'articulation. Des voitures construites en 1964 par Rathgeber pour Munich sont sensiblement identiques. P. Malterre.

Alger : ce matériel articulé « two rooms and a bath » construit par la FrancoBelge en 1935 avait donné de bien meilleurs résultats que les voitures transformées sur cette formule par beaucoup de réseaux après la guerre. Il a roulé jusqu'en 1960.

Photo Eichecker — Collection P. Malterre.







Ci-dessus de gauche à droite : Plus de 500 voyageurs, avec un seul agent de conduite, peuvent prendre place dans ces rames Ganz de Budapest circulant en unités multiples en site protégé, sur les lignes du Ring. Vue prise en 1978. P. Malterre.

La version Tatra du PCC articulé, avec 2 bogies moteurs sur 3, vue ici à Moscou en 1977. P. Malterre.

Ci-contre de gauche à droite : Amsterdam : une des 220 rames articulées à 3 caisses qui circulent sur toutes les lignes du réseau. Les plus récentes sont de construction Linke-Hoffmann-Busch/Holec. Grâce à un rapport de transmission très bien choisi, ces rames qui ne dépassent 50 km/h sont, malgré l'adhérence partielle, remarquablement nerveuses et assurent un service de très haut niveau. P. Malterre.

Berne dispose de 16 rames articulées Schlieren/BBC livrées en 1975. Ces voitures sont à adhérence totale, tous les bogies y compris ceux d'articulation ayant un moteur attaquant les essieux par un pont et une transmission élastique Hurth. La hauteur du plancher est de ce fait de l'ordre de 920 mm, mais l'embranchement a été très bien étudié. P. Malterre.

Occidentale. 65 voitures similaires, mais unidirectionnelles, sont en cours de livraison par B.N. à La Haye ; si les bogies sont identiques à ceux des voitures belges, l'équipement électrique fait appel à des hacheurs.

A l'Est Tatra, s'employa également à développer des variantes articulées du PCC, avec les types K2 et K5 à adhérence partielle. Peut-être pour des raisons identiques, n'ont-elles pas connu un développement très considérable. Tatra n'a pas fait de voiture à 3 bogies à adhérence totale, mais a construit, essentiellement pour l'Allemagne de l'Est, un type de motrices PCC articulées à 2 caisses sur 2 bogies moteurs (type KT 4), avec un système d'articulation inspiré de celui de Munich. Livrées depuis quelques années seulement, il est encore difficile d'apprécier les résultats, mais on notera que leur durée de vie prévisionnelle a été ramenée de 25 à 20 ans. Ganz a livré, de 1970 à 1978, à Budapest 190 motrices articulées à 3 bogies et moteurs fixes sous la caisse. La production de ces remarquables voitures a toutefois été arrêtée au profit du matériel Tatra dans le cadre du Comecom.

Dans les années soixante, pour accroître leur productivité, les réseaux eux-mêmes en vinrent à transformer leurs récents matériels en voitures articulées. Avec 2 voitures à 2 essieux, ils fournirent une motrice du type «two-rooms-and-a-bath» développé à Boston dès 1896... Ou bien encore, ils conservèrent la motrice à 2 essieux et y ajoutèrent une remorque reposant à l'avant sur l'articulation et à l'arrière sur un bogie-porteur («Nachläufer»). Pratiquement tous les réseaux allemands tentèrent l'expérience (après Turin et Milan dès 1940), de façon à retarder l'obsolescence économique de leur matériel à 2 essieux. Le réseau de Bruxelles, fit de même en 1963 et en Allemagne de l'Est, Gotha sorti jusqu'en

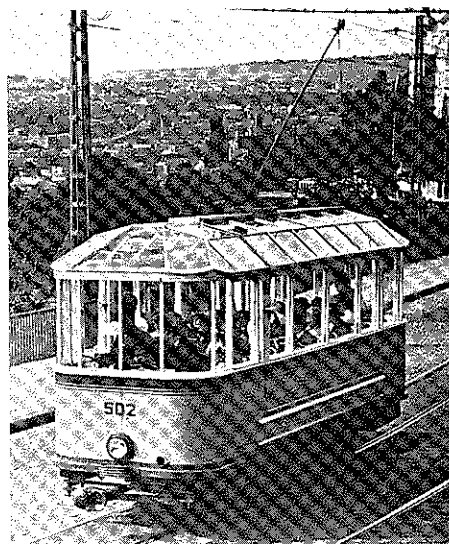
1967 des rames «two-rooms-and-a-bath» neuves, pratiquement identiques à celles livrées par la Franco-Belge à Alger en 1935.

En règle quasi-générale, les résultats obtenus furent désastreux, tant sur le plan de la qualité de roulement que celui des usures et de l'entretien. Tous ces matériels eurent une durée de vie fort brève, à l'exception des plus réussis (ou des moins mauvais) : rames «two-rooms-and-a-bath» de Stuttgart obtenues à partir de motrices à 2 essieux, excellentes, mais construites par aberration en 1957... qui ont roulé jusqu'en 1981, et rames «Nachläufer» de Vienne, elles aussi produites à partir d'un fort bon matériel, qui ont un roulement très correct et qui sont toujours en service. Il vaut mieux laisser tomber le manteau de l'oubli sur le reste sans jeter la pierre à des réseaux qui cherchaient à faire de leur mieux avec des moyens limités plutôt que d'abandonner purement et simplement le tramway.

Cet effort désespéré visait à adapter le matériel à une situation qui allait bientôt changer ; on cherchait en effet à faire défiler le plus de monde possible devant le receveur. Quelques années plus tard — comment ne pas parler de myopie dans l'activité des transporteurs urbains — il avait disparu...

Alors qu'il sortit, jusqu'en 1970, des voitures livrées avec siège de receveur, il devenait patent que, grâce à la multiplication des titres à vues, à la simplification de la tarification, au développement des réseaux de vente à terre et au perfectionnement des oblitérateurs et distributeurs automatiques, aucune ligne, si

Une utilisation insolite et sympathique du tramway : le véhicule panoramique du réseau de Stuttgart en rampe de 70 % sur la « Neu Weinsteige » en 1939. On note sur ce petit véhicule la présence de l'attelage automatique ! Photo SSB. Collection A. Gache.



forte soit-elle, n'échappait plus au domaine de l'exploitation à agent seul, qu'il fût encore chargé ou non de la vente de certains titres, mais en aucun cas de leur oblitération.

La disparition du receveur amenait alors à s'interroger sur l'intérêt de conserver à l'avenir la formule du véhicule articulé et sur l'opportunité de fractionner la capacité en voitures à bogies attelées. La grande capacité de la rame ne pouvait être remise en question, à la fois en raison de l'indispensable productivité de l'agent de conduite et de la nécessité de ne pas augmenter à l'excès les cadences de passage en heures de pointe.

Le débat a immédiatement été tranché en faveur de la première formule. Il est en effet aisé de faire apparaître qu'à capacité égale, un véhicule articulé est plus léger, donc moins coûteux à l'achat et à l'entretien qu'une rame de 2 voitures. Mais cela peut encore se contester ; par contre, ce qui n'est pas niable, c'est le sentiment de sécurité que donne au voyageur la présence physique du conducteur dans la voiture où il se trouve et la possibilité de rentrer en contact avec lui pour lui demander renseignements, assistance, voire secours. De ce fait, l'avantage de la voiture articulée de grande capacité est réel, bien que, pour obtenir la capacité nécessaire, beaucoup de réseaux aient été contraints d'y ajouter une remorque dont on constate le faible taux d'occupation à certaines heures et sur certains tronçons de lignes, les voyageurs se groupant alors dans la motrice.

La plupart des réseaux se sont en définitive ralliés à l'une des formules ci-dessous, avec des cadencements d'horaires variant de 6 à 12 minutes selon les lignes, le nombre de places étant donné pour une occupation de 6 voyageurs debout par mètre carré :

- motrices « 2 caisses » isolées (170 places) : Mannheim et diverses petites villes allemandes ;
- motrices « 2 caisses » + remorque (280 places) : Vienne, Braunschweig, Bâle ;
- motrices « 3 caisses » isolées (250 à 300 places) : Amsterdam, Cologne ;
- motrices « 3 caisses » + remorque (380 places) : Düsseldorf.

On notera que dans la dernière formule, le poids adhérent n'excède pas 45 % du total, ce qui est acceptable dans une ville plate où le tramway bénéficie de nombreux sites protégés rendant moins nécessaires les fortes accélérations pour l'obtention d'une vitesse commerciale qui reste de l'ordre de 18 à 20 km/h.

Signalons aussi la tendance continue à transformer en « 3 caisses » des voitures « 2 caisses » et la particularité du réseau de Zurich avec sa circulation en unités multiples de 2 motrices « 3 caisses » offrant au total 330 places avec 70 % de poids adhérent, permettant, à l'inverse de la formule Düsseldorf adaptée à une ville plate, et à un prix bien supérieur, des performances brillantes en rampe de 6 % (accélération de 0,9 m/s<sup>2</sup> maintenue jusqu'à 30 km/h, vitesse d'équilibre de 40 km/h).

Enfin, mentionnons à nouveau le cas de Budapest, où les motrices « 3 caisses » de Ganz roulant par deux forment une rame d'environ 500 places avec la fréquence de passage stupéfiante d'une minute et demie sur les lignes du « Ring » (plus de 20 000 places offertes par heure et par sens !).

Dans les années 70, il semblait que le tramway avait atteint son stade ultime d'évolution : excellent rendement économique sur les lignes à fort trafic, peu de nuisances, bon confort, bonnes performances (encore que celles obtenues dès 1936 par le PCC restassent à égaliser par nombre de matériels). C'était à la fois vrai et faux. Vrai, parce qu'en dehors de l'introduction imminente de l'électronique de puissance, la technologie devait peu évoluer par la suite. Faux aussi, car la survie du système de transport avait exigé la transformation de son infrastructure et il fallait à présent créer le matériel roulant qui y soit adapté. « Stadtbahn », « Light Rail Transport », « Métro léger » allaient engendrer leurs véhicules, appelés à déclasser dans la décennie 80 tout ce qui semblait parvenu à un état achevé. Ainsi va la vie dans les systèmes urbains ferrés comme ailleurs.



#### Un aspect peu connu de l'exploitation des tramways : la restauration légère.

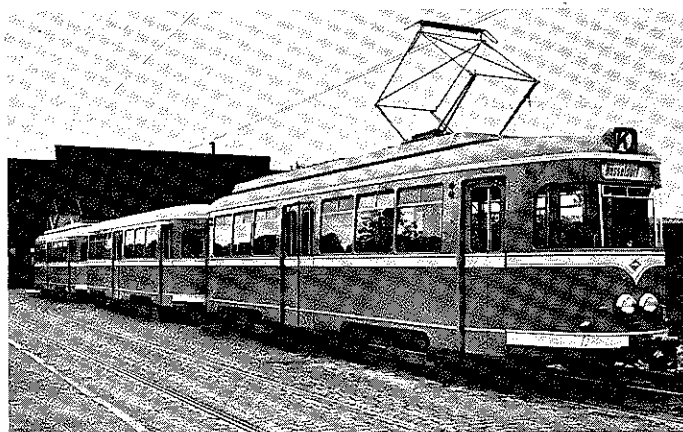
C'est ce qui existe depuis longtemps et qui connaît toujours un succès soutenu en Allemagne à Düsseldorf.

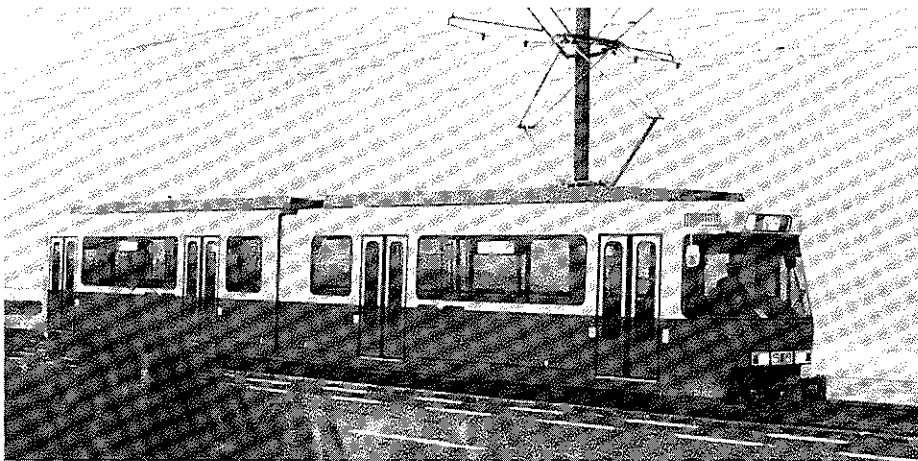
Dès après la première guerre mondiale la ville de Düsseldorf exploitait deux lignes suburbaines avec des rames comportant au centre une voiture-restaurant.

Dans les années 50, en remplacement du vieux matériel, Düwag a construit ces rames composées de 2 motrices à 4 moteurs encadrant une remorque-restaurant pour l'exploitation de la ligne K (Düsseldorf-Krefeld). Ce matériel circulait à 100 km/h dans des conditions remarquables de confort.

Cette tradition de la restauration s'est maintenue de nos jours sur la ligne D avec des rames articulées modernes à 3 caisses sur 4 bogies. Ainsi le voyageur y est-il mieux traité que sur la majorité des trains actuels.

Photo Düwag. Collection A. Gache.  
M. Mertens et R. Martin.





Une des nouvelles rames articulées belges BN/ACEC, vue en essais sur la ligne côtière près d'Ostende (1980).

S.N.C.V.

## Les MATÉRIELS de MÉTRO LÉGER

La conception des systèmes de métro léger repose sur l'idée-force que le transport public ne doit pas se contenter d'être l'outil de dépannage de ceux qui pour une raison ou une autre ne peuvent se déplacer en voiture particulière, mais qu'il doit au contraire être suffisamment attractif par ses qualités propres pour conquérir une partie de la clientèle n'utilisant pas jusque là les transports publics.

Pour ce faire, le système doit être rapide, fiable dans ses temps de parcours et ses intervalles de passage, et confortable, toutes qualités que ne présentent pas suffisamment le tramway traditionnel et encore bien moins l'autobus. Ceci a d'abord des conséquences sur l'infrastructure (développement des sites propres allant éventuellement jusqu'à des sections de longueur non négligeables en souterrain, création de stations convenablement aménagées) et par voie de conséquence sur le matériel roulant.

Ces exigences nouvelles sont pour lui les suivantes :

- Aptitude à la desserte, tantôt de quais hauts, tantôt de quais bas (voire même inexistants), d'où des emmarchements variables.
- Performances supérieures à celles du matériel tramway. La vitesse maximale est en effet passée de 60 à 80 voire 100 km/h.
- En règle générale, retour au véhicule bidirectionnel, pour faciliter les installations de terminus en souterrain.
- Adjonction de dispositifs de sécurité (arrêt automatique) en liaison avec les signalisations des sections en souterrain.
- Marche en unités multiples pour former des trains de grande capacité (jusqu'à 500 places).
- Aspect intérieur et extérieur rompant avec l'image du tramway traditionnel.

L'industrie allemande, et en particulier l'usine Düwag, a développé pour cela une nouvelle gamme de matériel roulant sans pour

autant abandonner les composants de base qui avaient fait leurs preuves, comme le bogie ou l'articulation.

Dans cette gamme on peut distinguer :

- Les matériels conçus spécifiquement pour un réseau, en raison des contraintes propres de celui-ci (et notamment celles héritées des installations « tramways ») : on trouve dans cette catégorie les matériels U2, U3, P8 de Francfort et le matériel de Hanovre.
- Les matériels dits « standardisés » conçus pour une union de réseaux appelés à former ultérieurement une entité unique : le meilleur exemple est donné par la voiture « Rhein-Ruhr » dite Stadtbahn « B », en service à Cologne, Bonn, Mulheim et Essen, et à l'avenir dans d'autres villes.

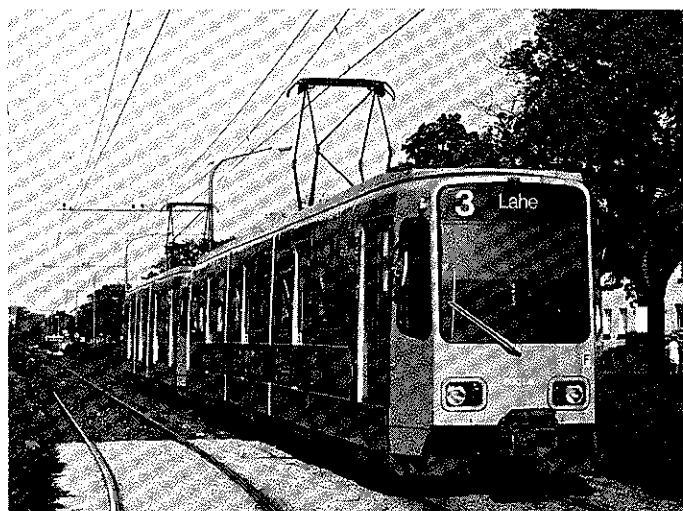
Dans le même esprit, il faut faire état, bien que ce soit davantage un matériel « tramway » que « métro léger » (il ne dessert que des quais bas), du type « M » ou « N » (selon qu'il est à voie métrique ou voie normale) à 2 ou 3 caisses, avec des équipements électriques différents suivant les réseaux, mais dont la partie mécanique est rigoureusement identique d'un réseau à l'autre : Essen, Mulheim, Bochum, Dortmund, Krefeld, Mayence, Nuremberg, Kassel, Bielefeld, Augsburg ont acquis ou vont commander ce type de voiture.

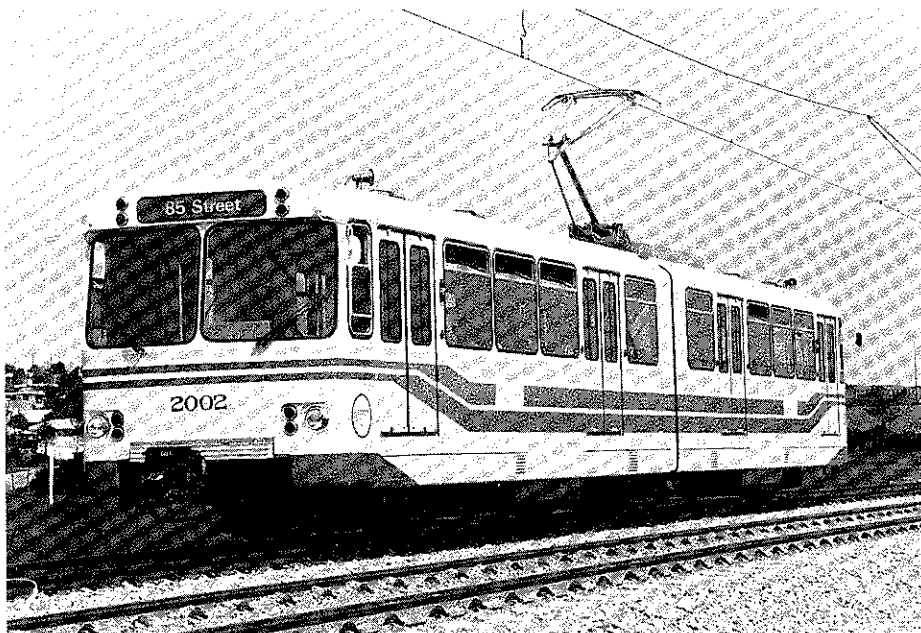
Plutôt qu'une description qui nous amènerait par trop dans le détail, retenons-en les principes essentiels :

- il s'agit de motrices articulées avec seulement 2 bogies moteurs, le ou les bogies d'articulation n'étant pas motorisés.
- le bogie Düwag a été conservé sans modification appréciable, tout au moins jusqu'en 1981 où une nouvelle variante est apparue ; de même l'articulation et, sauf pour le type « B », les portes.

A gauche motrice Düwag P8, articulée à 3 caisses sur 4 bogies des services municipaux de Francfort ; cette série de voitures est à emmarchement variable. A droite, motrice articulée Düwag - Siemens spécifique à Hanovre, vue à la périphérie de la ville. Ce matériel équipera aussi Tunis en 1984. Ces deux types de voitures ont un emmarchement variable.

P. Malterre.





Exportation allemande au Canada : deux motrices « U2 » prévues uniquement pour quais hauts, à Calgary (à gauche) et Edmonton (à droite).

Siemens et G. Scholtis.

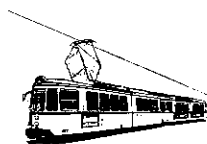


Schéma d'une voiture articulée à 2 caisses sur 3 bogies dérivée du type U2 de Francfort, construite pour San Diego (USA) :

- 1 Manipulateur / 2 Table de conduite et liaison radio /
- 3 Dispositif d'annonce voyageurs / 4 Equipement Simatic /
- 5 Calculateur de bord et équipement de contrôle / 6 Batterie
- 7 Groupe moteur - alternateur / 8 Résistances de démarrage /
- freinage situées sous le plancher / 9 Ventilateur des résistances
- 10 Commande du sablage / 11 Contrôleur, inverseur, isolement
- des moteurs / 12 Attelage automatique / 13 Frein électro-
- magnétique / 14 Moteur de traction / 15 Pantographe avec
- son moteur de commande / 16 Disjoncteur.

Document Siemens.

— les solutions mécaniques (freins, construction de caisse, etc.) sont un développement de tout ce qui avait été fait antérieurement.

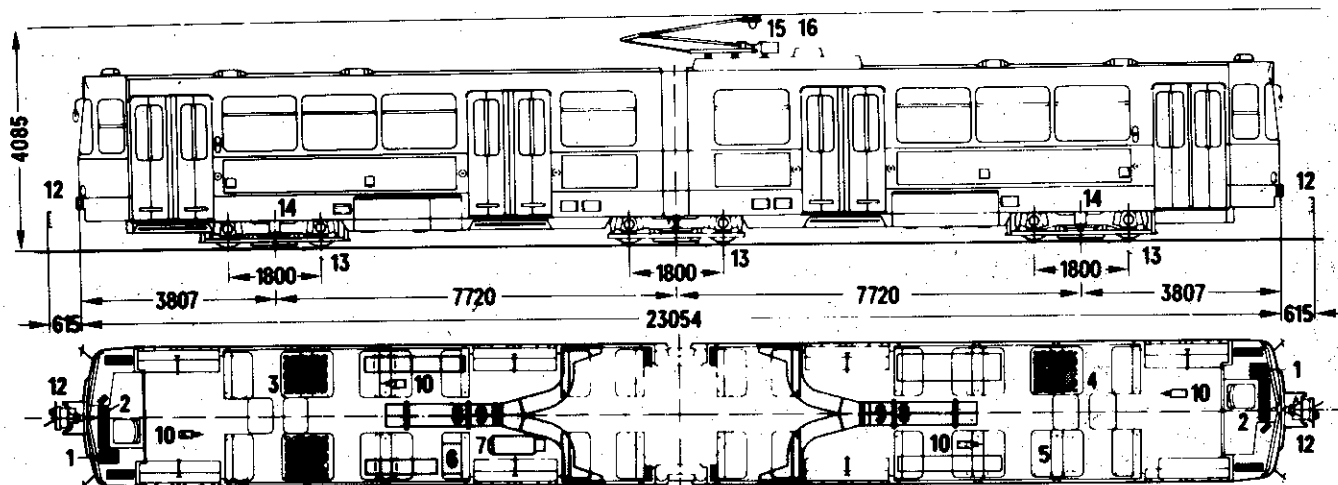
— les équipements électriques, conventionnels d'abord, sont maintenant tous à hacheurs, voire à onduleurs et moteurs à courant triphasé.

Parmi ces voitures, les types articulés à 2 caisses, U2 et U3 de Francfort, et « B », de dimensions par ailleurs très voisines (longueur respectivement 23 m et 26,9 m, largeur 2,65 m) méritent un examen plus attentif.

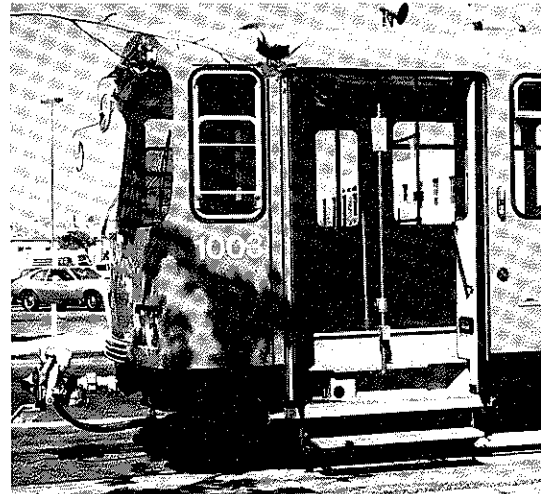
Succédant à 2 prototypes construits en 1965, le type U2, plus ancien, est apparu en 1968. A emmarchement fixe, il peut desservir des quais de 32 et 56 cm, le plancher étant à 0,96 m, ce qui suppose même dans le cas de quais de 56 cm une marche intérieure. La capacité est de 162 places et la voiture comprend 4 portes doubles par face. La motorisation (2 moteurs de 150 kW) permet une vitesse maximale de 80 km/h avec des accélérations

assez brillantes. Il s'agit d'un matériel « tout-électrique », simple et efficace. Grâce à lui, la R.F.A. a pu réaliser ses percées à l'exportation et il équipe les nouveaux réseaux d'Edmonton et Calgary (Canada) et San Diego (U.S.A.). La dernière variante « U3 » ne peut desservir que des quais hauts et dispose d'un équipement à hacheurs.

Le type « B » est beaucoup plus sophistiqué. Il offre 4 portes doubles et 2 portes simples par face. Il dispose d'un emmarchement variable et peut desservir aussi bien des quais hauts de 95 cm que le niveau du sol (quoiqu'alors l'accès ne soit pas très facile, la première marche étant haute de 40 cm. . .). Toutefois, c'est un cas extrême car sur les lignes équipées de ce matériel, c'est bien rare qu'au minimum on ne trouve pas des quais de 15 à 20 cm. La motorisation est plus forte : 2 moteurs de 235 kW avec une vitesse maximale de 100 km/h. Ces voitures sont dotées







Rames de type U2 de San Diego (USA). A la différence de celles de Calgary et d'Edmonton, elles disposent d'un emmarchement rétractable permettant l'accès à partir du niveau du sol.

G. Rannou.

de l'air comprimé, utilisé pour la suspension pneumatique (intéressante avec des quais hauts pour avoir la même hauteur de plancher à vide ou en charge), les auxiliaires et les freins mécaniques. C'est un matériel très confortable, au moins jusque vers 70 ou 80 km/h, très silencieux, mais fort coûteux. Il est gros consommateur d'énergie, en raison du choix sans doute trop ambitieux de la vitesse maximale (et du rapport d'engrenages correspondant), alors qu'en fait nulle part ce matériel n'a l'occasion de rouler en service normal à plus de 80 km/h.

Pour cette raison, le réseau de Düsseldorf a commandé 22 voitures «B» avec un nouveau rapport d'engrenages et un équipement à onduleurs et moteurs à courant triphasé. Jusqu'ici le type «B» n'a pas été exporté tel quel, mais il a servi de base au matériel Metro-Cammel du nouveau réseau de Newcastle (Grande-Bretagne) que l'on pourrait qualifier de «météo régional léger».

Ces deux types de voitures ne peuvent circuler sur un réseau de tramways habituel car les emprises exigées en courbe, tant en raison de la largeur que de l'entraxe entre pivots, sont beaucoup plus fortes que celles du matériel traditionnel ; l'exception notable est constituée par le réseau de Cologne avantage par un gabarit très généreux (mais cet avantage, le réseau l'a au fil des ans bâti par sa clairvoyance en reprenant l'entraxe des voies au fur et à mesure de leur renouvellement).

Parmi les autres types évoqués, le type «Hanovre», développé aussi par Düwag, réclame une mention spéciale. C'est un matériel moulé sur le gabarit du réseau tramways (2,40 m) avec des entraxes de pivot beaucoup plus faibles et, pour une même longueur et une capacité inférieure à celle des matériels de Francfort U2 et U3, compte 4 bogies et 3 caisses, donc un poids supérieur, et des entraxes entre pivots de 6,4 au lieu de 10 m,

donc une stabilité moins grande à vitesse élevée. Mais les conditions d'insertion sont beaucoup plus faciles et les performances restent d'un niveau élevé grâce à la forte motorisation (2 x 217 kW). Comme dans tous les matériels à 3 caisses avec 2 bogies moteurs seulement, le poids adhérent est d'environ 55 % du poids total et de ce fait les rampes maximales — on ne les trouve dans une ville aussi plate que Hanovre que dans les trémies de raccordement aux sections souterraines — ne doivent pas dépasser 4 % environ. Ce matériel, qui sera au total construit à plus de 200 exemplaires pour Hanovre, a été le premier à être doté en série de hacheurs de courant avec freinage par récupération, dont le fonctionnement en service courant paraît irréprochable. Il sera très probablement adopté par les réseaux de Mannheim et Ludwigshafen pour renouveler le matériel Düwag des années 60, et c'en est une variante très proche qui équipera le réseau de métro léger de Tunis dont les marchés de construction ont été passés en 1980. Dans sa version d'origine, il peut grâce à un système de marche escamotable desservir aussi bien des quais hauts que des quais bas.

Le matériel P8 de Francfort en est très proche et offre les mêmes caractéristiques générales, avec toutefois un équipement classique à contacteurs et une motorisation plus faible (2 x 120 kW).

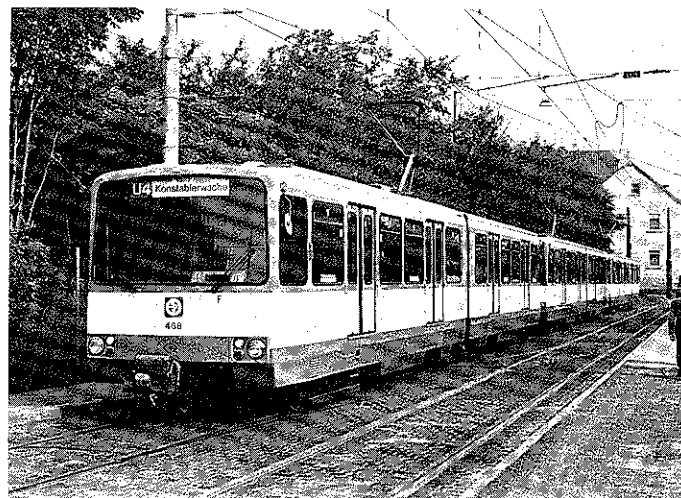
Le matériel Standard «M» ou «N» ressemble beaucoup à ces voitures, mais il ne peut en principe que desservir des quais bas. En effet, il comporte 3 marches fixes à l'intérieur de la voiture, plus une marche escamotable à l'extérieur, de façon à diviser la hauteur de plancher de 880 mm par 4 avec donc des marches très faciles à gravir, au lieu de 3 dans le matériel antérieur. Le matériel «M» ou «N» se trouve équipé électriquement de façon très variable ; les premières séries, construites à partir de 1975, ont reçu des équipements à contacteurs, mais maintenant on trouve des hacheurs

Siemens ou BBC et, à titre encore expérimental, des équipements à onduleurs des mêmes constructeurs. Avec son gabarit de 2,30 m, ce type de matériel convient à la plupart des réseaux et il n'est donc pas étonnant que plus de 300 exemplaires en soient déjà construits ou en commande. Karlsruhe et Darmstadt achètent une variante dont la caisse est construite non par Düwag, mais par DWM (usine de Berlin-Ouest) et Helsinki reçoit un matériel similaire construit sous licence Düwag avec un équipement à hacheurs Stromberg.

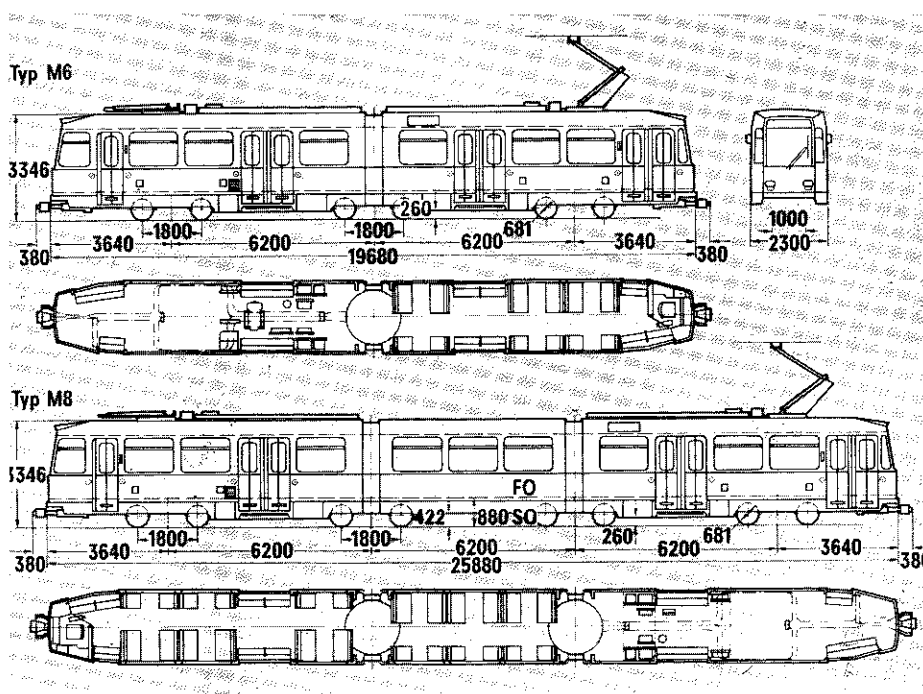
Dans tous ces matériels, un effort considérable a été donné au «design» de la caisse et des aménagements intérieurs, les réseaux ayant par ailleurs abandonné la livrée crème classique pour des colorations beaucoup plus vives qui améliorent considérablement la présentation et permettent de les distinguer plus nettement dans la circulation.

Dans l'avenir proche, on peut estimer que ces types de matériel seront les seuls livrés aux réseaux allemands, à quelques exceptions près, qu'ils aient ou non des sections souterraines. Le cas de Krefeld est assez typique : resté très longtemps fidèle au modèle Düwag le plus classique (avec équipement électrique à commande manuelle) pour des raisons de coût, ce petit réseau qui ne compte aucune section souterraine a changé complètement de politique et achète maintenant, chez le même fournisseur, des voitures type «M». Linke-Hoffmann-Busch construit pour Brunswick un modèle similaire, mais avec le nouveau bogie Simotrac qui est une version compactée et concurrente du bogie Düwag.





Ci-dessus, à Francfort : matériels U2 (à gauche) et U3 (à droite). Ce dernier équipe une ligne de métro exclusivement à quais hauts et circule en site banal pour accéder aux ateliers du réseau. Noter le revêtement en pavés synthétiques.  
M. Mertens et Siemens (G. Scholtis)



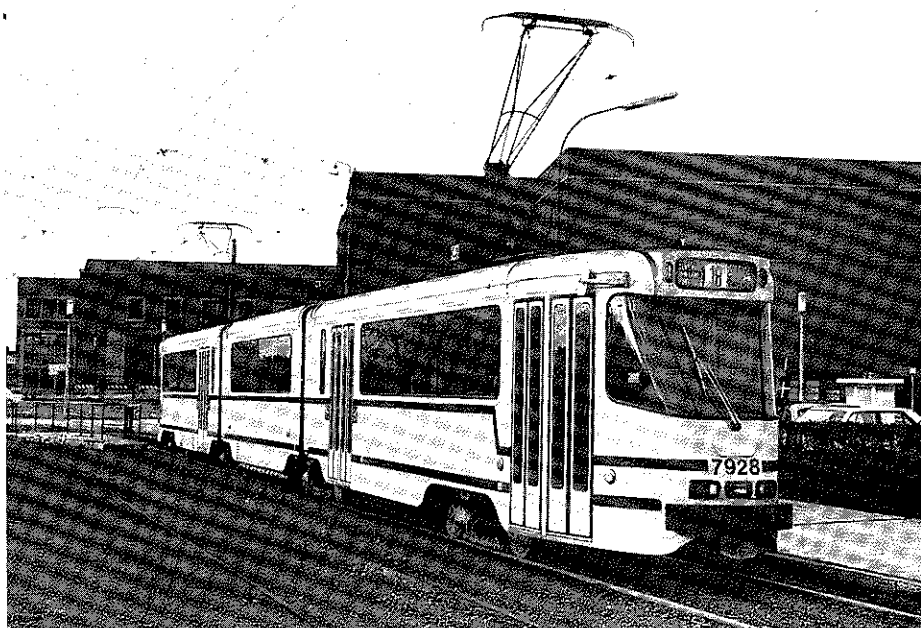
Ci-contre, diagramme des motrices M6 (2 caisses) et M8 (3 caisses) standardisées. Les versions N6 et N8 sont à voie normale.  
Document Siemens

Ci-dessous à gauche : un bel exemple de standardisation offert par ces trois motrices M8 et une motrice M6 appartenant à 4 villes différentes (Bochum-Gelsenkirchen, Essen, Bielefeld et Mulheim), formées en une rame pour essais sur le réseau d'Essen. Ce que nous avons manqué en France pour les métros, le verrons-nous un jour pour les tramways ? On remarquera la qualité de ces trois voies métriques !

A droite, matériel Stadtbahn B de Bonn. Il est limité à 60 km/h en ville et à 80 km/h (théoriquement 100 km/h) entre Cologne et Bonn sur des voies parcourues également par des trains de marchandises.

H. Albrecht et M. Mertens.



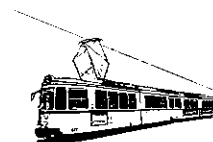


L'industrie allemande n'est naturellement pas la seule capable de produire ce genre de matériel ferroviaire. Nous avons déjà cité l'usine Brugeoise et Nivelles et les Ateliers de Charleroi avec leur dernière série de motrices articulées à 3 caisses sur 4 bogies, type PCC, à adhérence totale, livrée il y a quelques années au réseau de Bruxelles. Les mêmes industries livrent actuellement pour les Chemins de Fer Vicinaux belges (réseaux de la Côte et réseau du Hainaut) des motrices articulées à 2 caisses sur 3 bogies tout à fait différentes puisqu'elles ont des bogies monomoteurs et un équipement à hacheurs. L'industrie belge a aussi obtenu la

commande de 64 motrices à 3 caisses pour le nouveau réseau de Manille. Enfin, elle a été chef de file dans la construction de 68 motrices du « pré-métro » de Rio, grandes voitures articulées à 2 caisses sur 3 bogies similaires à la voiture « B » de Düwag. A noter qu'ici les bogies sont de construction française (M.T.E.). Enfin, l'industrie belge se prépare à recevoir la commande du matériel métro léger de Bruxelles, qui rompra largement avec la tradition PCC (sauf pour l'excellent bogie bi-moteur BN conservé tel quel) et qui marquera certainement une étape importante dans l'évolution du matériel de cette ville.



L'industrie suisse est également à même de livrer des matériels de cette catégorie. Ainsi, sans même repartir du « tram 2000 » de Zurich sinon pour souligner l'exceptionnelle réussite de ces voitures (8), on mentionnera le matériel conçu pour les lignes suburbaines de Zurich (Forchbahn) et de Neuchâtel en majorité en site propre et très proches des concepts habituels de métro léger. L'industrie suisse a gagné aussi la commande du « super-tramway » d'Utrecht (nouveau réseau qui ouvre en 1983), obtenant le marché à la barbe des concurrents allemands et belges.



Outre-Atlantique, le renouveau du transport public à partir des années 70 a fortement intéressé les constructeurs aéronautiques, soucieux de diversifier leurs produits. Boeing s'est lancé dans le domaine du métro léger et a obtenu en 1976 la commande de 175 motrices pour Boston et 100 motrices pour San Francisco. Les voitures LRV (Light Rail Vehicles), destinées à renouveler le matériel PCC de ces deux villes, ont été conçues selon les critères « métro léger » (reversibilité, aptitude à la circulation en souterrain, emmarchement variable). Elles étaient destinées à devenir le matériel standard américain, comme l'avait été la voiture PCC dans les années 40. Boeing envisageait, compte tenu des projets de création de réseaux, un marché totalisant en une quinzaine d'années plus d'un millier de voitures. Boeing a fait construire la caisse au Japon, l'équipement électrique étant de fabrication américaine Garrett, les ponts étant fabriqués par Rockwell, mais les transmissions Hurth étant d'origine allemande. Les solutions technologiques les plus modernes ont été recherchées : bogies monomoteur avec suspension pneumatique, hacheurs, etc. Toutefois, le constructeur, à l'inverse de ce qui avait été fait pour le PCC, a travaillé pratiquement sans liaison avec les exploitants et a pris le minimum de licences de fabrication, prenant le pari de maîtriser sans difficultés des problèmes technologiques lui paraissant secondaires par rapport à ceux qu'il avait à traiter habituellement.

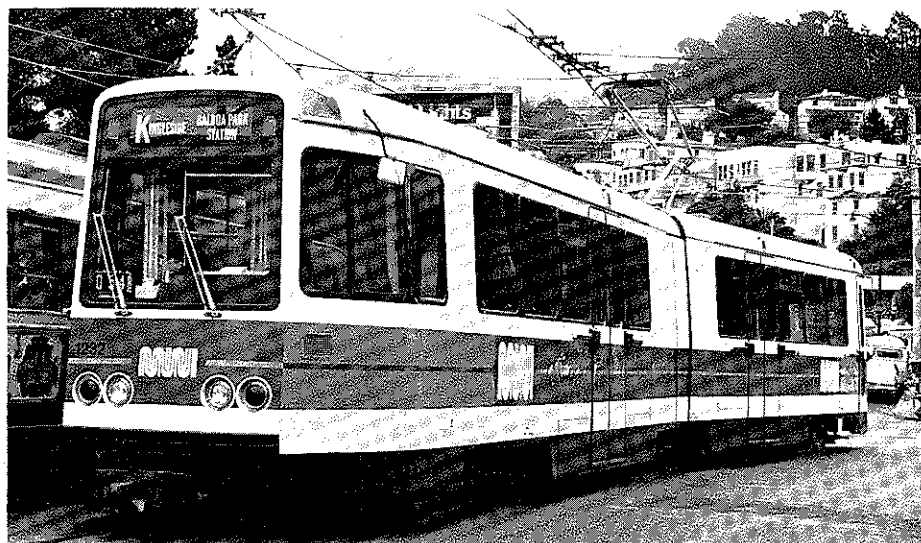
(8) Le nouveau réseau de Gênes qui ouvrira en 1984 utilisera une version bi-directionnelle, à voie normale, du « tram 2000 ».

Zurich : près de Triemli, une rame "2000" peu après sa livraison, en 1977. Chaque motrice porte l'écusson et le nom d'un quartier de la ville.

P. Malterre

Ces voitures ont soulevé un intérêt considérable, mais il est vite apparu que même un constructeur bénéficiant dans son domaine d'activité normale d'une réputation aussi flatteuse que Boeing pouvait essuyer les pires déboires, faute d'expérience dans un domaine nouveau pour lui. Livrées avec retard, les premières voitures de Boston n'ont pu être mises en service commercial qu'au bout d'une interminable période d'essais avec retours au constructeur, modifications profondes, etc., suite à des défauts très graves apparus dès les premiers tours de roues : susceptibilité aux déraillements, ennuis de bogies, incidents sur l'équipement électrique, etc. la voiture LRV arrivant à coûter trois fois plus cher en entretien que le matériel PCC vieux de trente ans et plus. Après plusieurs années de conflit, le réseau de Boston a conclu avec Boeing un accord selon lequel le constructeur s'engageait à faire fonctionner convenablement 135 voitures, en y apportant à ses frais les modifications nécessaires, le réseau de Boston renonçant à la livraison des 40 dernières voitures (pourant quasi-achevées) et recevant de Boeing une coquette indemnité.

Paradoxalement, l'autre client de Boeing, San Francisco paraît tout à fait satisfait du même matériel. Le réseau a eu la sagesse d'attendre le temps qu'il fallait la livraison de son matériel en continuant l'exploitation avec ses PCC, ce qui lui a évité les plus gros déboires. Il a sans doute mieux formé son personnel d'entretien et les voitures de San Francisco n'ont pas la complication introduite par le système de climatisation. Enfin, les caractéristiques du réseau (tracé, profil, état des voies) sont plus favorables qu'à Boston. Finalement le réseau estime que le matériel Boeing fonctionne correctement et est très bien jugé du public. Face à une forte croissance du trafic notamment provoquée par la mise en souterrain du métro léger sous la rue principale de la ville, il est prévu de faire venir à San Francisco les voitures laissées pour compte par Boston, après transformation des aménagements intérieurs.



San Francisco : une motrice Boeing lors de sa mise en service, en 1979.

Document S.F. Public Utilities Commission — Collection G. Muller

Les déboires de Boeing venant après ceux rencontrés par Rohr dans le métro régional de San Francisco, les avionneurs sont finalement revenus à leurs activités traditionnelles après cette incursion ruineuse dans le domaine des tramways et des métros. Mais en sous-estimant difficultés, délais, imprévus, etc. et donc les prix de revient, ils avaient du même coup privé de commandes leurs concurrents expérimentés : St-Louis Car et Pullman ; les deux constructeurs connaissant le mieux le matériel urbain avaient dû fermer leurs portes, si bien que malgré le « Buy American Act » la porte était ouverte à l'industrie étrangère, sous réserve de monter sur place les voitures. En matière de tramways ou métros légers, l'industrie japonaise s'est introduite avec la commande de 141 voitures pour Philadelphie, l'industrie italienne avec la commande de 48 motrices articulées pour Cleveland, l'industrie allemande avec la fourniture de 70 rames « U2 », com-

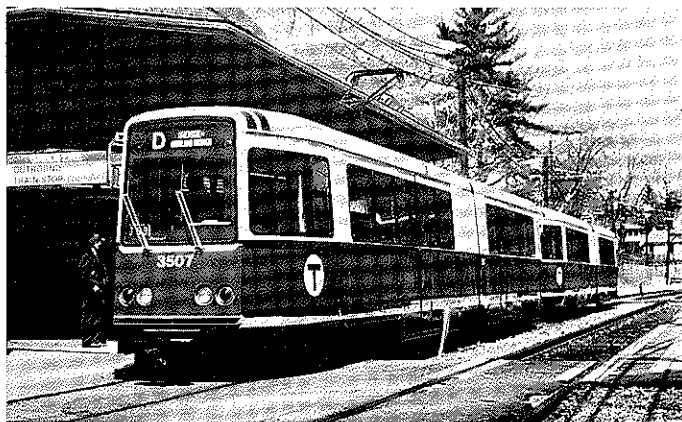
mandées pratiquement sur catalogue, pour Edmonton et Calgary (Canada) et San Diego (U.S.A.), l'industrie suisse avec 196 voitures pour Toronto et cette pénétration ne semble pas devoir s'interrompre, le nouveau réseau de Buffalo ayant, après appel d'offres, choisi un fabricant japonais, et celui de Portland la firme canadienne Bombardier détentrice des licences BN.

Si l'industrie française a pu s'implanter aux U.S.A. en matériel métro classique avec la commande du matériel d'Atlanta (s'ajoutant à une brillante liste où figurent Montréal, Mexico, Santiago, Caracas, Le Caire, Sao Paulo), elle est restée absente de la compétition pour les tramways, probablement faute d'une « vitrine » montrant son savoir-faire. D'ici deux ans, la livraison de motrices pour le nouveau réseau de Nantes devrait lever cet obstacle ; souhaitons alors qu'elle puisse répondre aux appels d'offres des villes américaines.

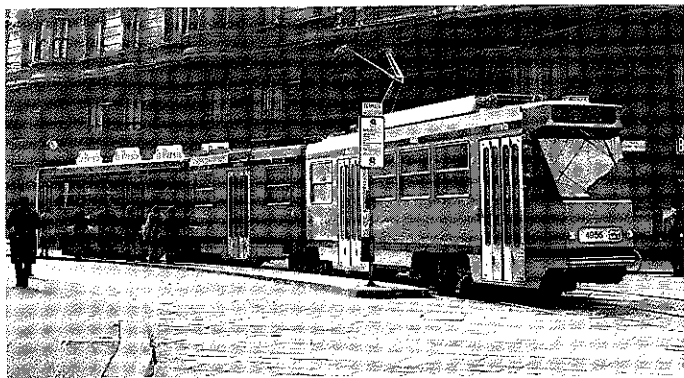
Ci-dessous, à gauche, matériel articulé Boeing circulant en unités multiples à Boston.

A droite, l'une des 141 voitures de construction japonaise en essai à Philadelphie. On note la voie non soudée fixée par crampons et les poteaux de lignes de contact en bois.

G. Rannou.







L'une des 100 motrices "Jumbo Tram" de Milan, à caisse en alliage léger. Ces voitures, à sens unique de marche sont dissymétriques (effilement des bouts de caisse coté entre-voie, maintien dans le même plan des pans de caisse coté extérieur) et le poste de conduite n'est plus dans l'axe de la voie, ceci afin d'utiliser au mieux le gabarit. Noter les sièges accrochés aux parois pour faciliter le nettoyage et, chose rare sur un matériel urbain, les rideaux.

A.T.M.



Après cette énumération de réalisations modernes, il n'est pas inutile de rappeler leurs principales caractéristiques communes :

- presque toujours, il s'agit de rames articulées, à 2 caisses sur 3 bogies là où le gabarit est le plus généreux, à 3 caisses sur 4 bogies là où les contraintes d'insertion sont les plus fortes, d'une longueur variant entre 24 et 29 m, avec un gabarit variant entre 2,30 m et 2,85 m. Les seules exceptions importantes sont constituées par les motrices à caisse unique de Philadelphie et Toronto, reconduction modernisée de la formule PCC avec possibilité de fonctionnement en unités multiples.

Par rapport à la solution à caisses indépendantes, la formule articulée s'est imposée essentiellement parce qu'elle permet un gain de poids et parce qu'elle assure, du point de vue de l'exploitation, l'équivalent d'une voiture à caisse unique : le conducteur peut rester en contact direct avec les voyageurs. Cet argument psychologique, très fortement ressenti par le public, est suffisant pour emporter la décision : ainsi le réseau de La Haye, longtemps utilisateur de motrices PCC circulant par deux, envisage-t-il de les transformer en motrices articulées pour cette raison.

- on observe un retour très marqué à la voiture bi-directionnelle, pourtant plus chère et d'aménagements intérieurs moins satisfaisants, en raison des facilités d'exploitation et de commodités d'implantation de terminus qu'elle procure. Des réseaux comme Bruxelles, Dusseldorf, Essen, etc. qui n'achetaient depuis 30 ans que des voitures uni-directionnelles ont fait depuis quelques années le chemin inverse.

- du point de vue technique de construction, l'acier reste universellement utilisé, à l'exception notable des dernières motrices « Jumbo-Tram » de Milan, alors que l'aluminium a maintenant acquis droit de cité sur la plupart des matériels de métro. Il faut, semble-t-il, voir dans cette réticence la crainte qu'ont les exploitants d'éventuelles difficultés de réparation de caisses en aluminium, les matériels de tramways et métros légers étant beaucoup

plus exposés à des éraflures, petites collisions, etc. que les matériels ferroviaires en raison de leur cohabitation avec les véhicules routiers. Le problème sera réglé sur le nouveau tramway standardisé français, construit en alliage léger, par les dispositions facilitant le démontage et l'échange des panneaux les plus vulnérables.

- sur les matériels à adhérence partielle, le bogie monomoteur s'est partout imposé, en raison de ses avantages économiques et de son gain vraisemblable en adhérence. Deux écoles s'opposent : la première, représentée par Düwag, et par Siemens et Thyssen (bogie Simotrac), propose des bogies où le moteur non fixé au châssis forme avec les ponts-moteurs un train roulant relié élastiquement aux essieux par des disques en caoutchouc<sup>(9)</sup> ; la deuxième, représentée par tous les autres constructeurs, propose un bogie où le moteur est fixé au châssis de bogie et bénéficie donc de la suspension primaire. Dans cette école, il y a deux variantes concernant la transmission : ponts non suspendus avec transmission par cardans (solution de type routier), ponts suspendus avec transmission avec arbre creux, type Hurth ou BBC.

On se gardera bien d'établir une hiérarchie de ces solutions qui manifestement satisfont toutes leurs utilisateurs. Tout au plus notera-t-on que la deuxième école permet de minimiser les masses non suspendues ; ce résultat est pleinement atteint avec la formule des ponts suspendus, mais au prix d'un raidissement de la suspension primaire exigé par le débattement limité des transmissions à arbre creux. Or, la géométrie souvent imparfaite des voies urbaines, encore plus sensible avec du matériel articulé qui en torsion se comporte

comme une longue voiture à caisse unique, rend utile la possibilité d'absorber grâce à la suspension primaire des défauts et notamment des gauches de voies beaucoup plus importants que ceux relevés sur des voies ferrées classiques.

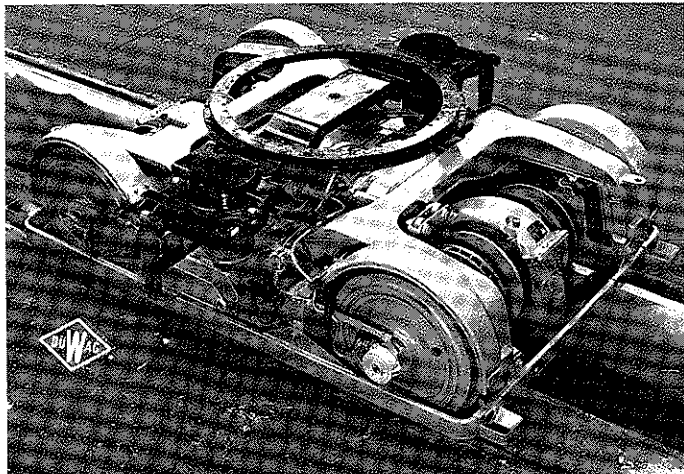
- la roue élastique procure pour des matériels légers circulant sur des courbes de petit rayon, des avantages en matière de réduction de bruits et d'usures de boudins beaucoup plus nets que ceux relevés sur des matériels ferroviaires plus lourds.

En contre-partie, la roue élastique a quelques inconvénients : par sa déformation, elle entraîne évidemment une consommation d'énergie légèrement supérieure à celle d'une roue rigide. Par ailleurs, il n'est pas impossible que son utilisation exclusive favorise le développement de l'usure ondulatoire des rails. Enfin, la roue élastique doit être attentivement examinée sous le rapport du passage des courants faibles de signalisation en cas de circulation en souterrain.

Deux modèles de roues se partagent le marché : la roue SAB à disques (ou à chevrons sur le modèle le plus récent) qui permet un démontage facile du bandage, intéressant sur les matériels pourvus de bogies à châssis intérieur, et la roue Bochum à blocs de caoutchouc, plus simple, montable seulement avec une presse spéciale et réputée de roulement plus doux, mais non démontable par découpage du bandage.

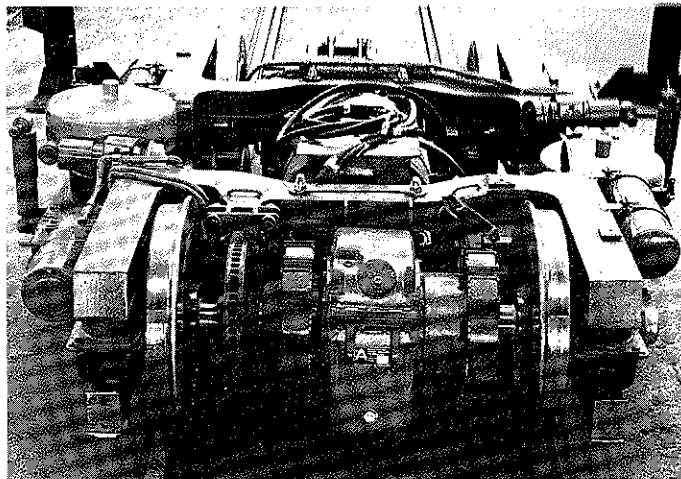
- se sont également généralisés les freins à disque, qui évitent l'échauffement des roues élastiques et qui sont plus compacts et de fonctionnement silencieux. Ces freins mécaniques ne sont utilisés qu'en complément du frein électrique qui constitue le mode de freinage essentiel. La commande des freins à disque s'effectue par ressorts pour le serrage (ce qui dispense de frein de parcage, puisque ce mode d'action est par principe inépuisable, au sens ferroviaire du terme), le desserrage se faisant par servo-moteur le plus souvent électrique, quelquefois hydraulique.

(9) Depuis quelques années, il est possible, à la place des disques en caoutchouc, de monter des croisillons à blocs caoutchouc qui ont le mérite de donner au bogie une meilleure souplesse et de faciliter ainsi le passage des rachats de devers importants (supérieurs à 6 mm/m) aux entrées et sorties de courbes (transmission « Pakett kupplung » de Thyssen - Rheinstahl).



Le bogie Düwag des GT8S de Düsseldorf, avec suspension entièrement en caoutchouc (le bogie des motrices M du même constructeur est sensiblement identique, mais adapté à la voie métrique). On remarque les roues élastiques Bochum, la suspension primaire et secondaire sur caoutchouc et l'unique disque de frein à commande électrique.

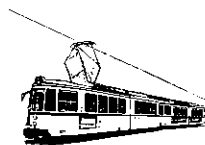
Düwag



Le bogie monomoteur des rames articulées BN-ACEC en construction pour la SNCV (réseaux de la Côte et de Charleroi).

On distingue bien la suspension primaire caoutchouc "Clouth" et la suspension secondaire pneumatique avec les amortisseurs et la transmission Rheinstahl "Pakettkupplung" associée au pont Thyssen-Rheinstahl.

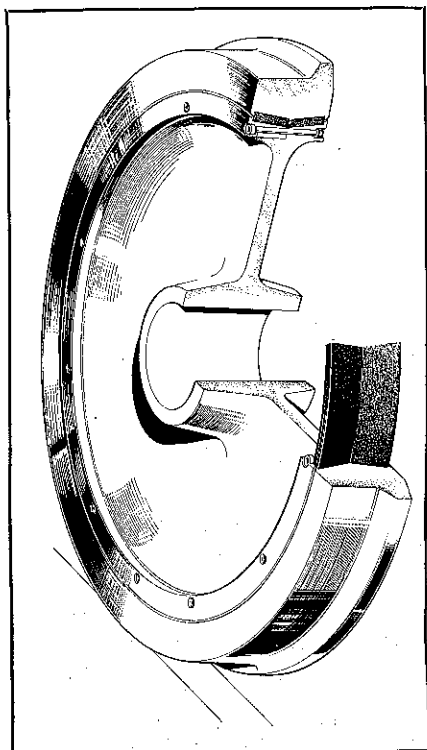
P. Malterre



Ci-dessous, diagramme de la partie motrice du bogie Simotrac de la voiture M6 de Mulheim à onduleurs et moteur à courant triphasé.

En bas de cette page, le train roulant du bogie Simotrac avec moteur à courant triphasé du matériel métro de Nuremberg. On notera le faible encombrement du moteur qui développe cependant une puissance de 195 kW (265 ch.).

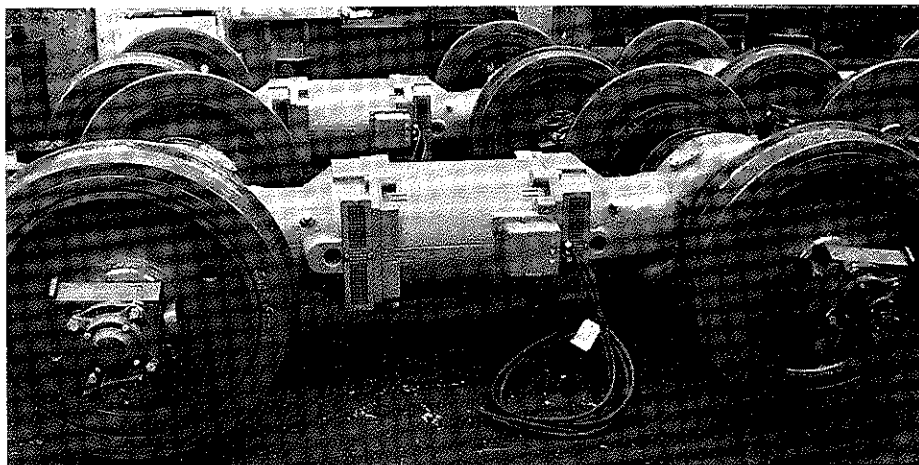
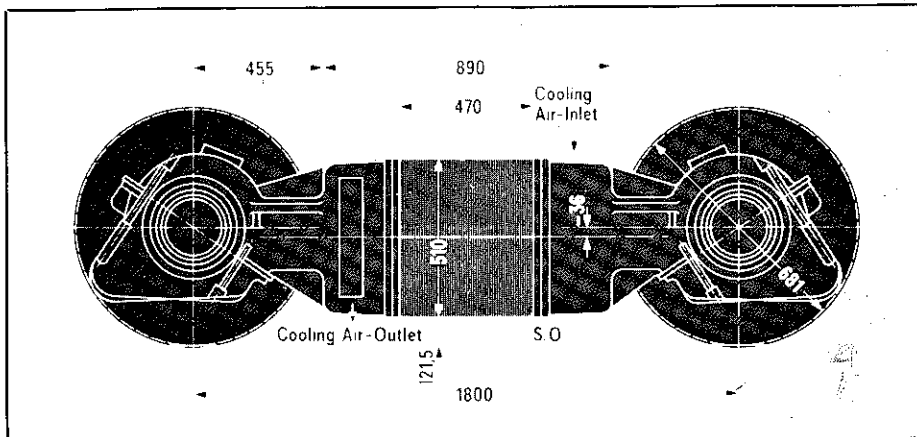
Siemens et G. Scholtis.



Vue en coupe d'une roue suédoise SAB.

Les couronnes élastiques incorporées amortissent les bruits de roulement et les crisements dans les courbes. Le bandage est aisément démontable par les boulons transversaux.

Document SAB



— la hauteur de plancher ne semble guère pouvoir descendre en-dessous de 860 mm dans le cadre technologique actuel, tant à cause de l'encombrement des ponts et du moteur qu'à cause de la nécessité de maintenir pour des raisons de sécurité et de confort un diamètre de roue de 650 mm au minimum (roue neuve) et un débattement de suspension de plusieurs centimètres. Avec le « tram 2000 », Zurich a pu descendre jusqu'à 830 mm, mais avec un moteur de 138 kW seulement et encore en utilisant des solutions extrêmement ingénieuses pour la disposition des organes sous châssis.

On ne voit pas actuellement de solution industrielle permettant à un véhicule de plancher plat, accessible au public sur toute sa longueur, d'avoir cette hauteur significativement abaissée. Cela ne pourrait être obtenu que sur une voiture qui reprendrait la formule du « Földalatti » (métro de Budapest à petit gabarit) avec un plancher décroché entre bogies,

le volume disponible au-dessus de ceux-ci étant utilisé pour le logement des équipements. Pour un matériel de tramway ou de métro léger, cette formule qu'avait un moment envisagée M.T.E. avec le projet « Citadis » présente des inconvénients sérieux : coupure du conducteur avec le public, et surtout risques de dégâts très graves en cas de collision latérale avec un véhicule routier en raison de la différence de hauteur entre les parties résistantes des deux engins. Genève a cependant dû y recourir sur les motrices Düwag-Vevey/BCC livrables en 1984-85. Essai à suivre...

Puisque la hauteur de plancher n'a guère de chance de varier, c'est sur la disposition des quais et de l'embarquement qu'il convient de porter les efforts. Plusieurs réseaux de métros légers ont un certain nombre de stations à quais hauts (80 à 90 cm), ce qui nécessite sur les voitures un emmarchement variable permettant aussi la desserte des quais bas (15

à 25 cm). Cette solution est certainement la plus satisfaisante en théorie, mais même si les réseaux qui y ont recours (Francfort, Hanovre, Cologne, San Francisco) la considèrent comme fiable, il est hors de doute qu'elle est coûteuse à l'achat et plus vulnérable qu'une solution classique à marches fixes ou systématiquement rabattues (exemple de la marche pivotante des tramways et autobus suisses attelée au mécanisme de portes, qui donne une pente d'escalier très agréable).

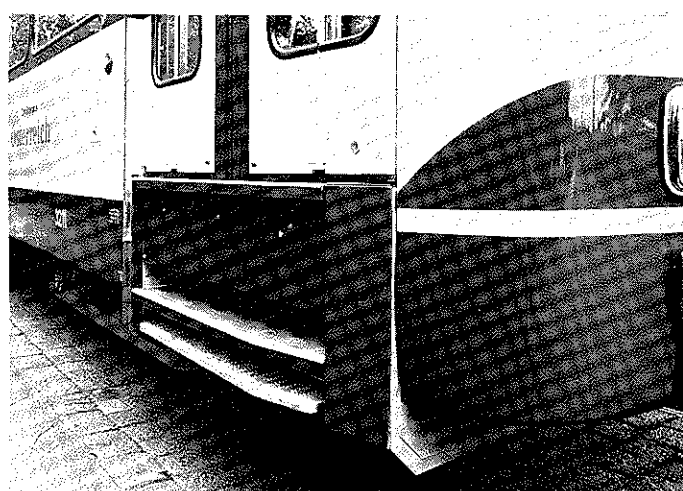
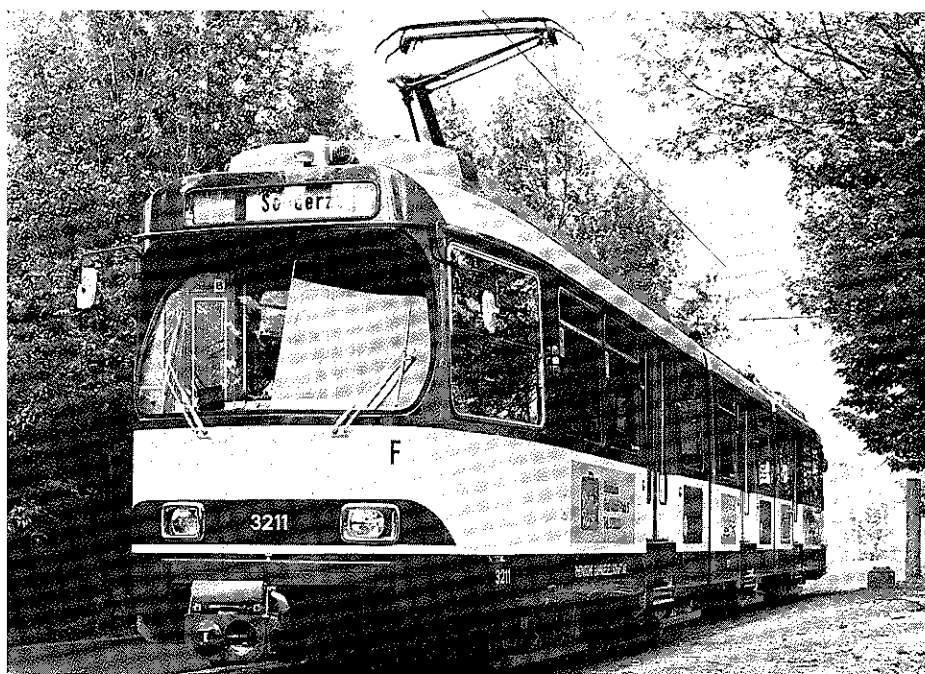
Sur son plus récent matériel à quais bas, Düwag a divisé la hauteur totale en 4 marches, la marche inférieure s'escamotant sous la caisse en position rétractée. Cela procure un emmarchement plus agréable, mais le mécanisme n'est pas aussi simple que celui des engins suisses et les temps d'immobilisation en station sont légèrement augmentés.

— la suspension pneumatique, dont l'intérêt principal est de maintenir une hauteur de plancher constante quelle que soit la charge du véhicule, est surtout adoptée là où cette caractéristique est pleinement utilisable, c'est-à-dire lorsque le matériel doit desservir des quais hauts (Düwag type « B », motrices Boeing), encore que ce ne soit pas une règle absolue, plusieurs réseaux même situés dans ce cas ayant totalement pros crit l'air comprimé (Hanovre, Francfort), avec des suspensions mixtes caoutchouc-acier qui se révèlent très performantes.

Cette faveur pour le matériel « tout-électrique » tient aux problèmes rencontrés dans le garage à l'air libre sous des climats rigoureux avec des matériels pourvus de l'air comprimé. Tous les auxiliaires (portes, freins, accessoires divers) peuvent en effet être actionnés par des moteurs à basse tension et les seules fonctions où l'air comprimé se révèle pour l'instant irrem-

Rheinbahn - Düsseldorf : motrice Düwag GT8S de 1975 transformée pour l'exploitation de type « métro léger », avec stations à quais hauts, quais mi-hauts et quais bas. L'embarquement mobile permet de gravir aisément les 88 cm de hauteur de plancher.

J. Von Rohr

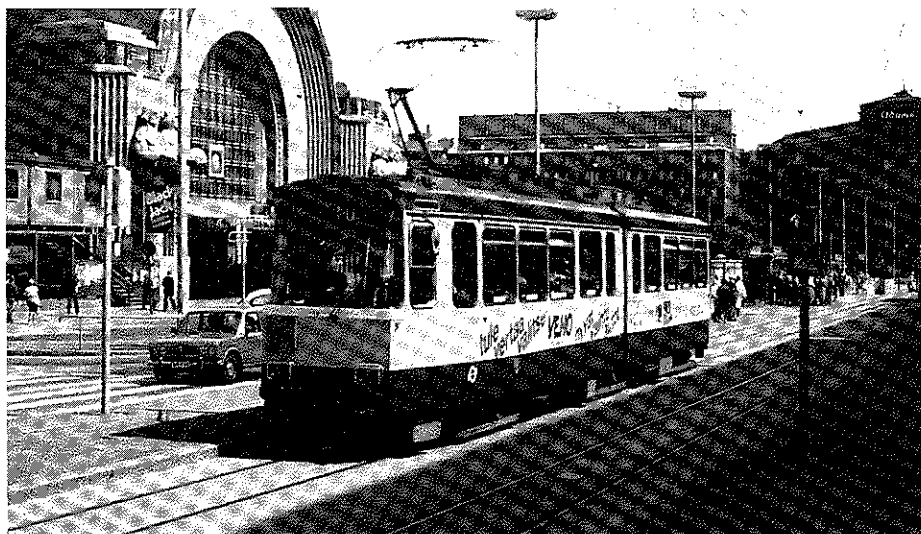


plaçable sont l'actionnement des graisseurs de boudins, réduisant dans de fortes proportions les usures et les bruits en courbe, et l'éjection à grande vitesse et en quantité mesurée du sable pour arrêter patinages et enrayages. Cette éjection est, sur les matériels modernes, commandée directement par l'équipement électronique de détection et il est essentiel de réduire au minimum le temps de réponse et en même temps de ne pas gaspiller sur le sol des quantités excessives de sable. Pour ce faire, il n'est plus nécessaire d'avoir une installation centrale d'air comprimé et on a recours à des micro-compresseurs n'assurant que cette fonction.

— sur le plan électrique, on relève l'augmentation de la puissance. Sur les motrices articulées des années 60, on disposait de 200 kW environ. A présent chaque motrice a une puissance installée dépassant 400 kW. Ceci permet le maintien d'accélération élevées, dépassant 1m/s<sup>2</sup> en palier et en charge, jusqu'à des vitesses de 40 à 50 km/h au lieu de 20 à 30 km/h avec le matériel antérieur. La consommation s'en ressent naturellement et des chiffres de 120 à 130 Wh/tonne-km ne sont pas rares, à comparer avec les 45 Wh/tonne-km de la motrice L de 1930...

Aussi les hacheurs de courant sont maintenant de règle et il est à noter que si, au début de leur règne, on ne se servait que du freinage rhéostatique, de plus en plus le freinage normal de service devient le freinage par récupération. Les motrices Boeing de Boston sont en cours de mise à cette fin.

Ces organes présentent maintenant toutes les garanties de fiabilité et leurs avantages d'économie de courant (20 à 25 % par rapport aux équipements classiques), de confort et de bonne utilisation de l'adhérence (absence de



Matériel construit en Finlande sous licence Düwag par Valmet OY avec hacheur Stromberg, en service à Helsinki. Une nouvelle tranche de 42 motrices est en construction avec équipement Stromberg à onduleurs et moteurs asynchrones.

M. Mertens.

crans, rapidité de réponse) rendent caducs les meilleurs équipements électro-mécaniques.

Observons toutefois l'apparition de la concurrence des onduleurs avec moteurs à courant triphasé. Après un premier essai en 1975 sur une motrice de tramways de Nuremberg, la première application de série pour un matériel de métro léger est faite par Düsseldorf avec 12 motrices «B» pourvues de cet équipement et livrées dans l'été 1981. Ce réseau maintient ainsi sa réputation de pionnier puisqu'il avait figuré parmi les tout premiers à acheter des rames à grande capacité en 1951, puis des rames articulées à 2 et 3 caisses en 1956 et 1957. Il restera à voir si cette dernière innovation — qui permet de supprimer les

soucis liés à l'entretien des collecteurs des moteurs de traction à courant continu, ce poste apparaissant maintenant le plus important qui subsiste après l'élimination quasi totale de l'entretien de l'équipement électrique grâce à l'électronique de puissance — obtient le même succès ; les spécialistes paraissent pour l'instant très partagés sur l'intérêt réel de cette solution par rapport au hacheur, compte tenu du surcoût d'investissement important qu'elle implique. Toutefois, si celui-ci, comme il est probable, va en se réduisant (comme ce fut le cas entre hacheur et équipement électro-mécanique), les coûts d'entretien n'ayant eux aucune raison de diminuer, bien au contraire, cette solution pourrait devenir de plus en plus attractive dans l'avenir (10).

Essen, mai 1981 : sur une ligne établie dans le terre-plein central de l'autoroute Ruhr Schnellweg, une motrice M8D Düwag/Kiepe ACEC à onduleurs et moteurs asynchrones, en cours d'essais.

P. Malterre.



(10) Pour les métros classiques et légers, voici la liste des voitures en service ou en construction munies d'onduleurs et de moteurs à courant triphasé, en Europe Occidentale :

#### Métros

- 64 motrices pour Nuremberg (Siemens)
- 12 motrices pour Berlin (Siemens et AEG-Telefunken)
- 12 motrices pour Munich (Siemens)
- 1 élément triple articulé pour Hambourg (BBC)
- 2 motrices pour Vienne (Siemens)
- 1 motrice pour Paris (Alsthom JS)

#### Métros légers et tramways

- 100 motrices pour Turin (Marelli et BBC)
- 22 motrices «B» pour Düsseldorf (Siemens)
- 1 motrice «M6» pour Mulheim (Siemens)
- 1 motrice «M8» pour Essen (ACEC)
- 42 motrices genre «M6» pour Helsinki (Stromberg)
- 33 motrices pour Rotterdam (HOLEC)

S'y ajoutent 20 trolleybus pour Helsinki (Stromberg), 10 trolleybus articulés pour Winterthur (Stromberg) et un trolleybus pour Salzbourg (Kiepe).

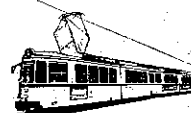




Tableau 1

Type	REPÈRES HISTORIQUES			MATÉRIELS NON ARTICULÉS (BB)		
	Lscsp	Peter Witt	PCC	T3/T4	UTDC	Stadtbahn "A"
Ville	Paris	Milan	La Haye	(5)	Toronto	Stuttgart
Constructeurs (mécanicien/électricien)	Appelvoage-STCRP /Thomson	Garminati Fiat- Breda /TIBB	BN/ACEC	Tatra/CKD Praha	Hawker-Siddeley /Garrett (8)	MAN/Siemens AEG - BBC
Année de livraison (1ère voiture/dernière voiture)	1922/1925	1927/1929	1949/1973	1960 ...	1978 ...	1982 ...
Nombre de voitures construites ou en commande	475 (1)	502	234	> 16.000	190	3 (9)
Longueur totale (M)	11,30	13,20	14,0	14,0	15,44	38,58
Largeur totale (m)	2,00	2,35	2,35	2,50/2,20	2,54	2,65
Matériel :						
bi-directionnel : B)						
uni-directionnel : U)	B	U	U	U	U	B
Nombre de portes par face (S : simples, D : doubles)	10	30 (3)	20/15	30	20	40
Hauteur de plancher à vide (mm)	810	740	860	900	920	1.000
Nombre de places assises	30	29	38	23/22	47	112
Nombre de places debout (4/m <sup>2</sup> )	19	67	63	89/72	54	138
Nombre total de places	49	96	101	112/94	101	250
Équipement électrique :						
EM : Electromécanique						
H : Hacheurs						
O : Onduleurs						
Freinage électrique de service :						
RH : Rhéostatique						
RE : Récupération						
Nombre et puissance unitaire des moteurs (kW)	2 x 44	4 x 20	4 x 44	4 x 44	2 x 140	4 x 269
Vitesse maximale (km/h)	45	45	60	60-80 (7)	80	80
Tare (t)	13,2	15,0	16,0	16,3/17,0	23,8	60
Tare/m <sup>2</sup> de surface au sol (t <sub>2</sub> )	0,58	0,47	0,49	0,46/0,55	0,60	0,58
Puissance massique à vide (kW/t)	7,42 (2)	5,33	11,0	10,79/10,35	11,76	17,9
Particularités	Retirées du ser- vice entre 1934 et 1938 (suppres- sion du réseau)	Environ 400 voitu- res en service au 1.06.1981	Matériel en ser- vice. Circule en UM "Tout- électrique"	Circule en UM, T4 : possibilité de tracter une remorque "Tout- électrique"	Circule en UM Suspension pneumatique	Elément de 2 voitures indé- coupables. Suspension pneumatique

- (1) 113 motrices équipées de freinage par récupération avec moteur compound, par transformation de 1929 à 1934 (type Lscsp).
- (2) Circulaient usuellement avec une remorque à bogies. Puissance spécifique du train : 4,25 kW/t.
- (3) Après transformation en 1937.
- (4) 94 motrices transformées avec freinage électrique rhéostatique en 1950 ; les autres motrices ne disposent que du frein à air comprimé.
- (5) Matériel standard des pays du COMECOM. Version T3 : largeur 2,50 m, Version T4 : largeur 2,20 m (utilisées en R.D.A.).
- (6) Équipement à hacheurs monté en substitution de l'équipement PCC sur une partie du parc de Prague. Autorise le freinage par récupération.
- (7) Plusieurs valeurs de rapport de réduction disponibles sur catalogue.
- (8) Conception générale et construction des 6 premières voitures SIG (Neuhausen, Suisse).
- (9) Prototypes. La commande portera sur plus de 100 voitures.

Berlin Est, mai 1982 : nouvelle rame de 2 motrices Tatra KT4, articulées à 2 caisses sur 2 bogies. Ce matériel, standard en RDA, perpétue les qualités de l'équipement PCC Westinghouse et du bogie B3 de la St Louis Car, tous deux mis au point dans les années 40.

P. Malterre.



L'esprit du PCC se perpétue à Toronto avec les nouvelles motrices Hawker-Siddeley/Garrett mais avec la technologie moderne : équipement à hacheurs et bogies monomoteurs à suspension pneumatique.

G. Rannou.

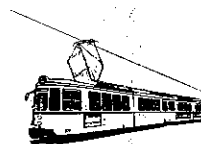


Tableau 2

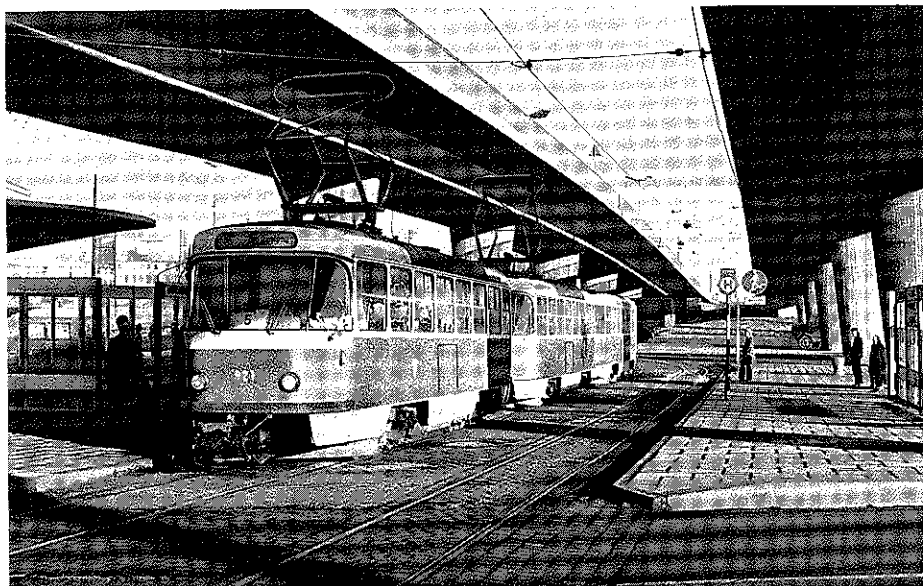
- (10) Matériel à voie métrique (M) ou voie normale (N) standardisé. Répartition : Bochum 55, Mulheim 6, Mayence 22, Nuremberg 12 (ces dernières construites en collaboration avec MAN).
- (11) Une motrice M6 à onduleurs à Mulheim.
- (12) Répartition : Boston 175 voitures (les 40 dernières refusées et retournées à Boeing) - San Francisco 100 voitures (acquies les 40 voitures refusées par Boston après modification).
- (13) Plusieurs voitures de Boston transformées pour obtenir le freinage par récupération.
- (14) A ajouter : 16 voitures pour Edmonton (Canada) 27 voitures pour Calgary (Canada) 27 voitures pour San Diego (USA), pratiquement identiques au type Francfort.
- (15) Matériel standardisé. Répartition : Boston 54, Cologne 119, Düsseldorf 12, Duisburg 8, Essen 19, Bochum 21, Mulheim 5.
- (16) Voitures de Düsseldorf : V max. 80 km/h, onduleurs, freinage par récupération. Voitures de Duisburg : V max. 80 km/h, hacheurs, freinage par récupération.
- (17) Première tranche.

MATÉRIELS ARTICULÉS 2 CAISSES SUR 4 BOGIES (B 2-2)									
Type	Tram 2000	M/N6	LKV	U2	Stadtbahn Ugg	BRGV	LKV	Hochbahn na (Lagota)	Tramway standardisés français
Ville	Zurich	(10)	Boston - San Francisco	Francfort (14)	(15)	Ostende (Charleroi)	Cleveland	Fort H	Paris
Constructeurs (mécanicien/électricien)	Schlieren /BBC	Düwag/Siemens-AEG-BBC	Boeing/Carrett	Düwag/Siemens-AEG-BBC	Düwag/Siemens	BN/ACEC	Breda/BBC	Flint/TIBB	Alstom-TBB HBB/Alstom TCO
Année de livraison (1ère voiture/dernière voiture)	1976/1980	1976 ...	1976/1981	1968 ...	1973 ...	1981 ...	1981 ...	1982 ...	1981 ...
Nombre de voitures construites ou en commande	60	95 (10)	275 (12)	96 (14)	238 (15)	103	48	100	20 (17)
Longueur totale (M)	21,40	20,44	21,52	23,0	26,90	22,80	23,50	28,50	28,50
Largeur totale (m)	2,20	2,30	2,68	2,65	2,65	2,50	2,81	2,50	2,30
Matériel :									
bi-directionnel : B uni-directionnel : U	U	B	B	B	B	B (54 voit) U (9 voit)	B	B	B
Nombre de portes par face (S : simples, D : doubles)	4D	3D/1S	4D	4D	4D/2S	4D	4D	6D/2S	4D/2S
Hauteur de plancher à vide (mm)	830	880	858	970	1.000	860	1.016	850	850
Nombre de places assises	50	36	52/68	64	72	59/44	84	64	60
Nombre de places debout (4/m2)	71	65	157/151	98	108	132/150	138	155	108
Nombre total de places	121	101	219/219	162	180	191/194	222	219	168
Équipement électrique :									
EM : Electromécanique H : Hacheurs O : Onduleurs	H	H O (11)	H	EM	EM/H/O (16)	H	H	O	H
Freinage électrique de service :									
RH : Rhéostatique RE : Récupération	RH	RE	RH (13)	RH	RH/RE (16)	RE	RE	RE	RE
Nombre et puissance unitaire des moteurs (kW)	2 x 138	2 x 185	2 x 210	2 x 150	2 x 235	2 x 228	2 x 239	2 x 210	2 x 265
Vitesse maximale (km/h)	65	80	80	80	100/80 (16)	80/60	90	80	70
Tare (t)	26,5	27,80	29,3	30,0	39,0	35,0	38,0	34,1	35,3
Tare/m2 de surface au sol (t2)	0,56	0,59	0,50	0,49	0,54	0,42	0,57	0,47	0,53
Puissance massique à vide (kW/t)	10,4	13,3	14,3	10,0	12,05	13,6	12,5	12,3	15,0
Particularités	Circule en UM "Tout électrique"	Circule en UM Marche rétractable "Tout électrique"	Circule en UM Suspension pneumatique	Circule en UM "Tout électrique" Embranchement variable (14)	Circule en UM Suspension pneumatique Embranchement variable	Circule en UM Suspension pneumatique	Circule en UM Suspension pneumatique	Caisse en alliage léger. Circule en UM Suspension pneumatique Pourra circuler en UM. Embranchement variable	Caisse en alliage léger "Tout électrique" Pourra circuler en UM.

Tableau 3

- (18) Matériel à voie métrique (M) ou voie normale (N) standardisé. Répartition : Bielefeld 48, Essen 40, Mulheim 6, Krefeld 30, Dortmund 43, Kassel 16, Augsburg 22.
- (19) Une voiture M8 à onduleurs à Essen.
- (20) Obtenues par transformation (adjonction d'une caisse intermédiaire et d'un bogie porteur) de motrices articulées à 3 caisses sur 4 bogies. Licence Düwag.

MATÉRIELS ARTICULÉS 3 CAISSES SUR 4 BOGIES							4 CAISSES SUR 5 BOGIES
Type	PGC articulé	Jumbotram	M/N8	"6000"	"3000"	GT 10 (B.2.2.2.B.)	
Ville	Bruxelles	Milan	(18)	Hanovre	La Haye	Linz	
Constructeurs (mécanicien/électicien)	BN/ACEC	OM-Breda/TIBB-AEG	Düwag/Siemens AEG-BBC	Düwag-LHB/ Siemens-AEG	BN/Holec	Rotax-Siemens	
Année de livraison (1ère voiture/dernière voiture)	1977/1978	1976/1978	1976 ...	1976 ...	1981 ...	1980	
Nombre de voitures construites ou en commande	61	100	205 (18)	240	65	12 (20)	
Longueur totale (M)	27,86	29,21	26,64	28,82	28,50	31,30	
Largeur totale (m)	2,20	2,40	2,30	2,40	2,35	2,24	
Matériel :							
bi-directionnel : B uni-directionnel : U	B	U	B	B	U	U	
Nombre de portes par face (S : simples, D : doubles)	8S	5D	3D/1S	5D	5D	6D	
Hauteur de plancher à vide (mm)	860	960	880	943	860	905	
Nombre de places assises	48	59	54	46	77	56	
Nombre de places debout (4/m2)	85	147	86	104	96	125	
Nombre total de places	133	206	140	150	173	181	
Équipement électrique :							
EM : Electromécanique H : Hacheurs O : Onduleurs	EM type PGC	EM	H O (19)	H	H	H	
Freinage électrique de service :							
RH : Rhéostatique RE : Récupération	RH	RH	RE	RE	RE	RE	
Nombre et puissances unitaires des moteurs (kW)	8 x 52	2 x 150	2 x 185	2 x 217	8 x 52	2 x 150	
Vitesse maximale (km/h)	60	60	80	80	60	60	
Tare (t)	37,90	32,0	34,5	38,8	37,0	35,6	
Tare/m2 de surface au sol (t2)	0,61	0,45	0,56	0,56	0,55	0,50	
Puissance massique à vide (kW/t)	10,97	9,3	9,76	11,23	11,20	8,42	
Particularités	Adhérence totale "Tout électrique" Bogies bi- moteurs	Caisse en alliage léger. Voiture asymétrique	Circule en UM Marche rétracta- ble. "Tout électrique"	Circule en UM Embranchement variable "Tout électrique"	Adhérence totale "Tout électrique" Bogies bi-moteurs Type PGC.	Voie de 0,900 m	



Insertion du métro léger dans des ouvrages routiers : une rame PCC Tatra T4D (deux motrices et une remorque) de Dresde.  
F. Spranger - Collection G. Scholtis.

## ITINÉRAIRES ET PROBLÈMES D'INSERTION

On ne s'étendra pas ici sur les critères économiques présidant aux tracés des lignes, héritages historiques lorsque le métro léger est développé à partir d'un réseau de tramways, ou, lorsqu'il s'agit de réseaux nouveaux, très souvent reprise par le métro léger d'itinéraires parcourus jusqu'alors par les lignes d'autobus ayant le plus fort trafic (ceci même si des études effectuées sur des modèles mathématiques ont été faites pour déterminer ces tracés... dont elles confortent la valeur !).

Sur le plan technique, les problèmes se posent en termes très différents en périphérie, dans la zone entourant le centre-ville, et dans le centre-ville lui-même. Dans le premier cas, le système peut utiliser le plus souvent de larges artères sur lesquelles il est facile de trouver les 7 à 8 m nécessaires sans qu'il y ait même réduction de la capacité routière. Il peut utiliser aussi des emprises ferroviaires remaniées,

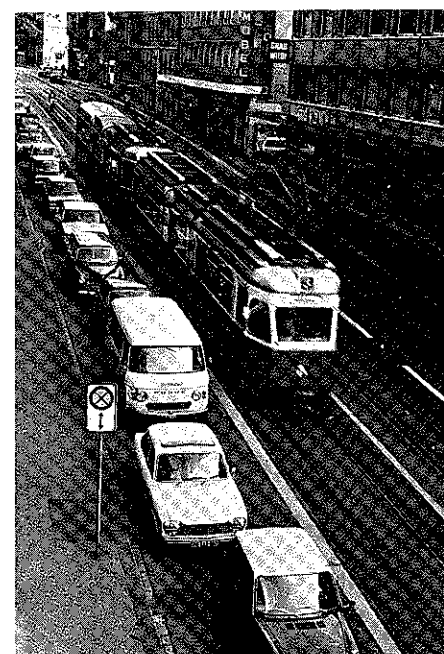
voire même des percées nouvelles relativement faciles à établir en périphérie lointaine, pour rejoindre par exemple une cité-satellite.

On s'attache en général à donner au site propre un caractère aussi « intégral » que possible : minimum de traversées à niveau, équipement de celles qu'on ne peut éviter en P.N. ferroviaires avec barrières automatiques, clôture de l'emprise pour éviter les traversées sauvages de piétons, etc., tout ceci naturellement pour autoriser une vitesse de marche élevée favorable à la productivité du système.

Lorsque l'on pénètre dans les villes, les problèmes d'insertion deviennent plus délicats. Le système utilise en général les emprises routières, avec une réduction de leur capacité correspondant à la suppression de deux files de circulation privées : cette « réduction » de capacité doit toutefois être appréciée en notant que 2 files de circulation automobile « transportent » au maximum 2 000 personnes par heure, alors que les deux voies du métro léger

peuvent en transporter 20 000... La réduction de l'emprise routière entraîne souvent la mise à sens unique de l'artère considérée avec en conséquence une reprise du plan de circulation.

Le site n'est plus « propre », car il est interrompu à chaque carrefour ; la matérialisation de la limite d'emprise peut être faite par de petites haies, ou bien plus simplement par bordurette, voire par bande de peinture lorsque la largeur entre façades ne permet rien d'autre. La vitesse de marche descend à 40 ou 30 km/h, mais le site protégé continue à garantir la régularité des temps de trajet surtout si, comme on le verra plus loin, les rames ont une influence sur le fonctionnement des feux de carrefours.



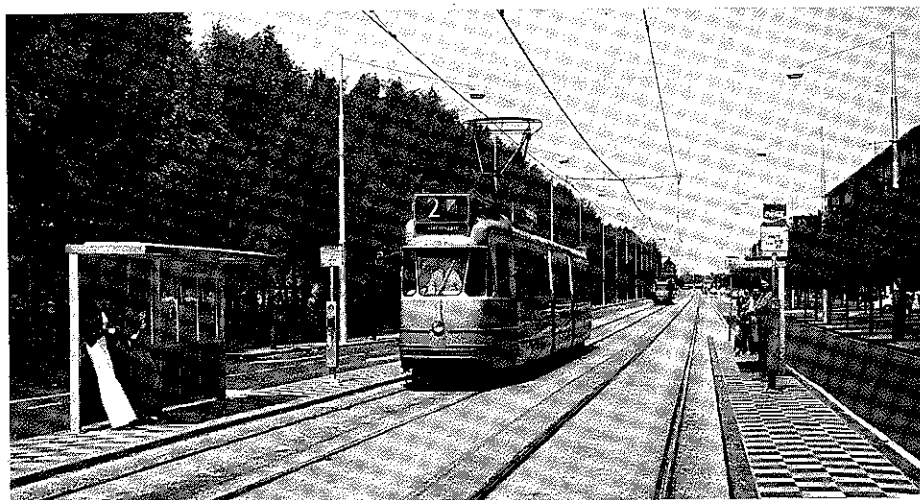
Quand la priorité aux transports collectifs n'est pas un vain mot : sur son site protégé, à proximité de la Central Platz, cette rame de Zurich double une longue file de voitures... bloquées.

P. Malterre

Dans le centre historique des villes, on trouve deux options correspondant à des politiques d'aménagement et de déplacements différentes. Dans la première, le transport public est envoyé en souterrain et la voirie reste disponible pour tous usages, par exemple pour un maintien total de la circulation automobile : c'est l'exemple donné par les « pré-métros » de Bruxelles et d'Anvers, où la création des

Ci-contre : site propre en revêtement bitumineux sur le récent prolongement vers Slotervaart de la ligne 2 du réseau d'Amsterdam.

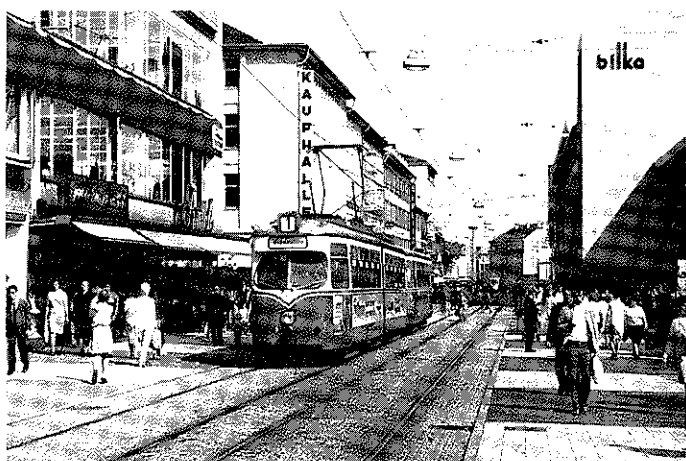
P. Malterre





Ci-dessus, à gauche : rames articulées Rathgeber à 2 caisses sur 2 bogies, en sortie d'un souterrain de traversée d'une zone à forte densité de circulation de la banlieue de Munich.  
A droite : à la station souterraine de la Wiener Platz, une voiture Stadtbahn "B" d'Essen (avec portes pliantes Düwag et non portes louvoyantes-coulissantes comme les premières séries).

R. Martin et G. Muller.

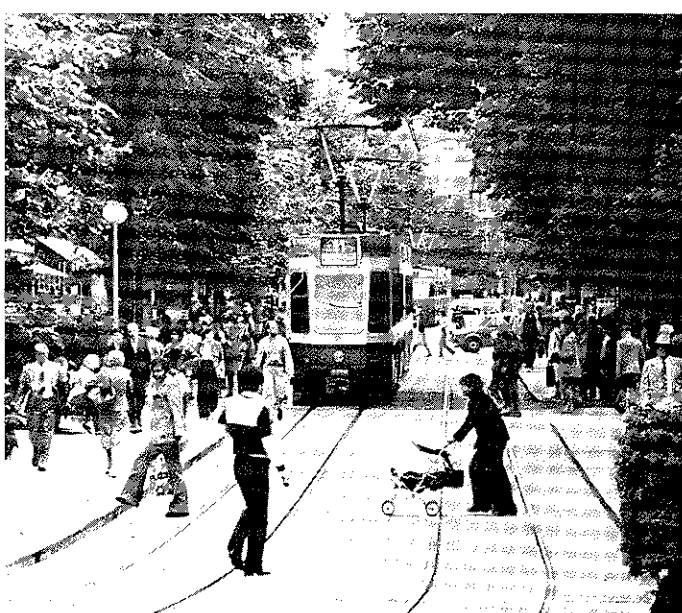


Zone piétons - tramways de la ville de Kassel.

R. Martin.

Karlsruhe : une station de métro léger sur la ligne nouvelle de Neureut (1981).

P. Malterre

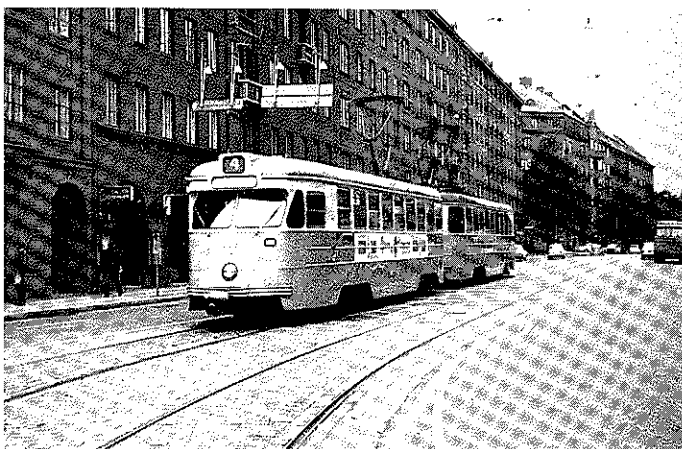


Zurich : ambiance de la Bahnhofstrasse (été 1981) : l'harmonie entre piétons et tramways transparaît sur ce document.

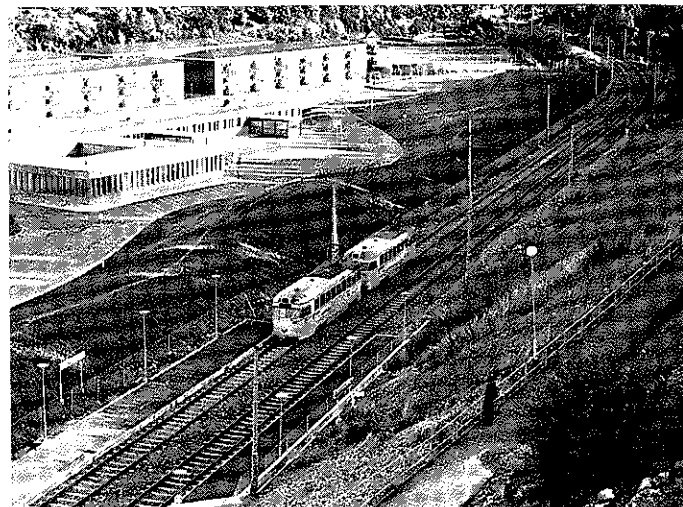
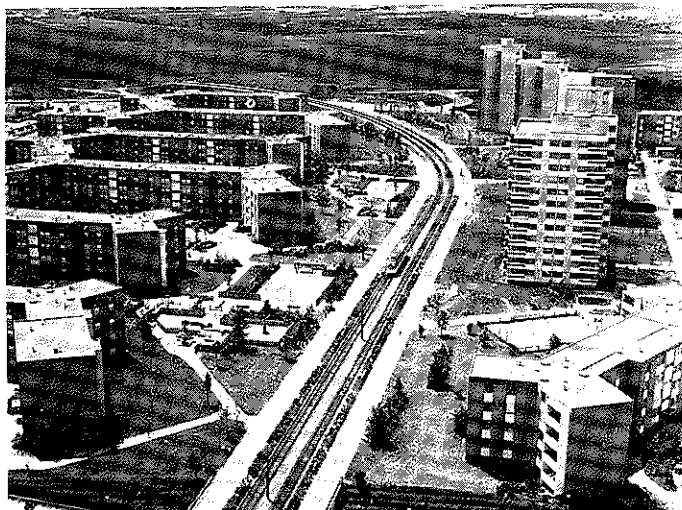
P. Malterre

Tramways de Göteborg (Suède) circulant en site propre matérialisé dans le centre de la ville.

R. Martin







Infrastructures pour métros légers.

A gauche, la percée réservée pour la desserte de Mannheim-Vogelstang, citée construite il y a une dizaine d'années. Les voitures particulières ne traversent pas cet axe. A droite, implantation du type chemin de fer en banlieue de Göteborg, sur la ligne 8. La voie est totalement clôturée.

P. Malterre

tunnels pour les tramways n'a entraîné aucune modification importante des schémas de circulation dans le centre de ces agglomérations.

La deuxième école est plus « volontariste » dans le sens de la priorité pour les transports publics. Le tramway pénètre jusqu'au cœur de la ville en surface, dans des rues d'où l'automobile privée est bannie et où les piétons bénéficient de trottoirs notablement élargis. L'exemple le plus connu est la célèbre Bahnhofstrasse de Zurich, rue où le mètre carré de commerce est réputé le plus coûteux du monde... ceci bien qu'aucune automobile n'y circule depuis près

de quinze ans. De telles dispositions nécessitent bien entendu un remaniement complet du plan de circulation, avec une forte limitation de l'accès du centre historique à la voiture particulière et, en compensation, la création de parcs d'échange et de dissuasion.

Il est hors de notre propos de discuter des aspects politiques, urbanistiques, écologiques et autres, du choix entre ces deux solutions, l'une réclamant une forte conscience civique, l'autre des investissements très supérieurs. On notera simplement ici qu'elles procurent au voyageur des niveaux de qualité de service similaires. Dans la solution « souterraine » les rames roulent plus vite, mais les stations sont moins nombreuses et les parcours terminaux du voyageur nettement plus longs (escaliers, couloirs, trajet final ou initial en surface), si bien que, malgré la limitation de vitesse des tramways en zone piétonne (en général 20 à 25 km/h), les temps de trajet sont tout à fait équivalents... avec l'avantage de bénéficier toujours du spectacle de la rue !

pentus avec des rampes de 13 % et des courbes de 15 m de rayon, acceptées d'ailleurs de façon étonnante par de petites motrices à 2 essieux représentatives de l'état de la technique dans les années vingt, qui semblent parfaitement à l'aise dans ces conditions difficiles.

Au fur et à mesure de l'évolution des réseaux de tramways — et a fortiori lors de la création de réseaux de type métro léger — on a cherché à adoucir partout où cela était possible tracés et profils. Mais lorsque l'on reste en surface dans la voirie existante, la marge de manœuvre est assez réduite. Dans le centre des villes en particulier, la topographie des lieux oblige bien souvent à des courbes serrées : c'est la condition sine qua non pour laisser passer le système ferré, en évitant les démolitions d'immeubles inadéquates au plan de l'urbanisme, ou des tunnels disproportionnés aux problèmes de transport à résoudre et inacceptables au plan des possibilités financières.

La même souplesse s'observe pour le profil. On relève dans les réalisations récentes des rampes allant jusqu'à 6 % (7,5 % à Stuttgart), soit pour suivre le profil du terrain, soit pour réduire la longueur des trémies de raccordement entre sections en surface et sections souterraines et limiter ainsi l'effet de coupure qu'elles introduisent dans le tissu urbain.

Cette souplesse d'insertion amène certes des contraintes dans la réalisation du matériel roulant, mais c'est un avantage essentiel des systèmes ferrés légers par rapport à ceux exigeant le site propre intégral. C'est un avantage dont il importe toutefois de ne pas systématiquement profiter, car il reste évident que des courbes de 30 m de rayon et des rampes de 6 % ne concourent pas à l'amélioration de la vitesse commerciale et leur emploi doit se limiter aux points singuliers rencontrés dans les centres historiques des villes.

Les petites motrices de Lisbonne (Portugal) n'ont pas besoin de l'adhérence de pneumatiques pour circuler sur cette rampe de 135 ‰ - cent trente cinq pour mille ! - de la montée de Sao Tomé (novembre 1981).

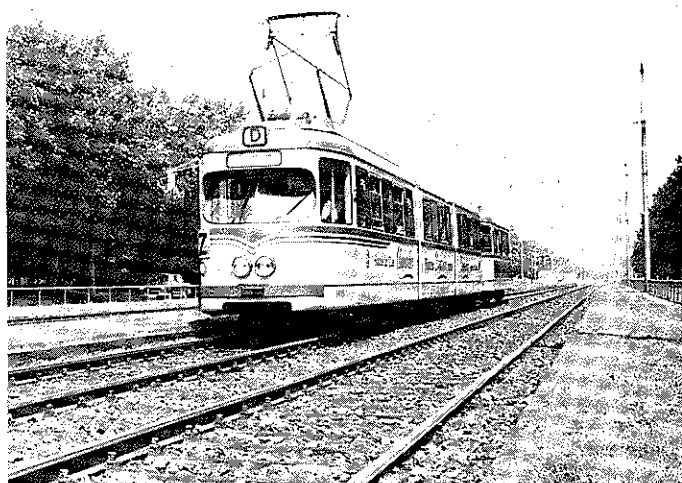
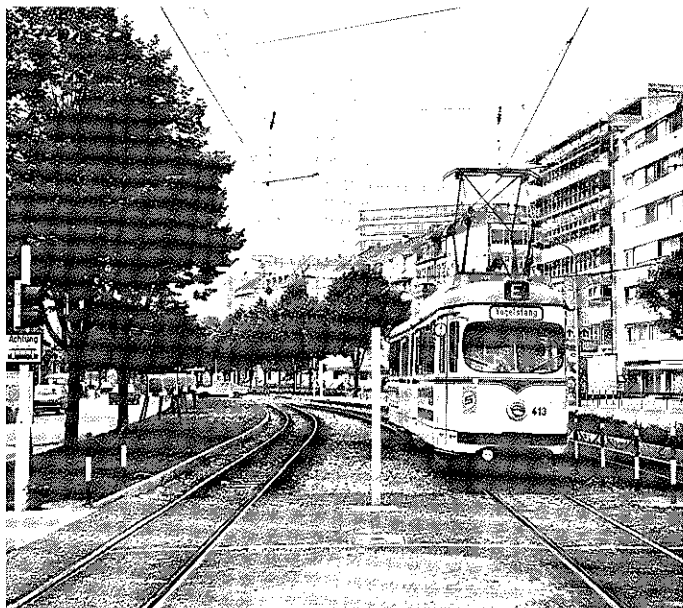
P. Malterre



## TRACÉS ET PROFILS

Lors de l'établissement de réseaux de tramways, les lignes ont été implantées presque partout sur la voirie, sur ce qu'on appelle maintenant un site banal, c'est-à-dire parcourable par toutes sortes de circulations. On s'est donc contraint à suivre le schéma des rues existantes et, comme le tramway était le seul mode de transport public qui soit performant, on a établi des lignes même sur des itinéraires accidentés et tortueux.

On a obtenu de ce fait des ensembles de lignes hétérogènes, comportant de ci de là des courbes et des rampes aux limites permises par la technique. Il subsiste de nos jours un exemple frappant qui est le réseau de tramways de Lisbonne qui dessert les quartiers les plus



## VOIES

L'état normal du métro léger, par définition, c'est le site propre ou le site protégé, non parcouru par la circulation générale hormis aux carrefours franchis à niveau, et établis à la surface du sol le plus souvent possible.

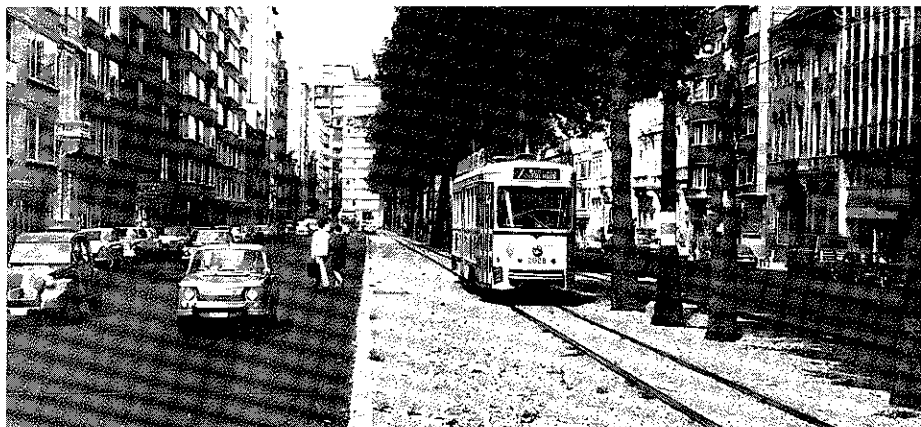
Rien ne s'oppose donc, en théorie, à l'équipement de telles voies selon la technique ferroviaire moderne. C'est ce que l'on constate par exemple en Allemagne où les voies en site propre sont identiques, à l'entraxe près, à celles du Chemin de Fer Fédéral : mêmes rails, mêmes attaches, pose sur traverses bois ou béton, épais ballast. Les réseaux élargissent les bandages de roues de façon à se rendre compatibles avec les appareils de voie Vignole du type classique (nous verrons ci-après que l'on peut arriver à une compatibilité totale, c'est-à-dire à permettre la circulation sur une même voie de métro léger ou tramway et de matériel ferroviaire du réseau national). De même, les bandages — presque toujours cylindriques sur les anciens tramways — sont-ils tournés au 1/40° de façon à bénéficier de l'effet de guidage par leur conicité.

Ces voies sont incontestablement les moins chères à établir et à entretenir, et donnent de bons résultats en matière d'amortissement des bruits et des vibrations. Malheureusement elles ne sont guère esthétiques en milieu urbain et donnent un effet fâcheux de chemin de fer industriel ; le ballast, de surcroît, retient volontiers vieux journaux et débris divers pour le plus vif déplaisir de l'œil.

On a donc recherché les moyens d'améliorer cette image, d'abord en délimitant l'emprise par des haies vives ou des rideaux d'arbustes, là où la largeur disponible le permet. Il existe des solutions encore plus attrayantes, comme celle de la « voie verte » développée par le réseau de Zurich à la demande des pouvoirs

Sites propres sur voies ballastées. A gauche à Mannheim, à droite à Düsseldorf sur une section à 2 voies « rapides » et 2 voies « lentes ». Bien plus que les destructions dues à la guerre — ces emprises datent du début du siècle — ce sont les possibilités de municipalisation des sols et la clairvoyance des édiles allemands qui ont permis de telles réalisations.

P. Malterre et M. Mertens.



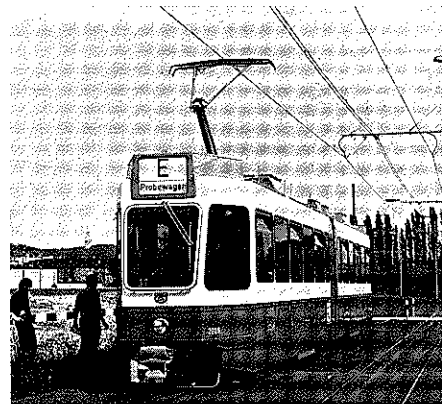
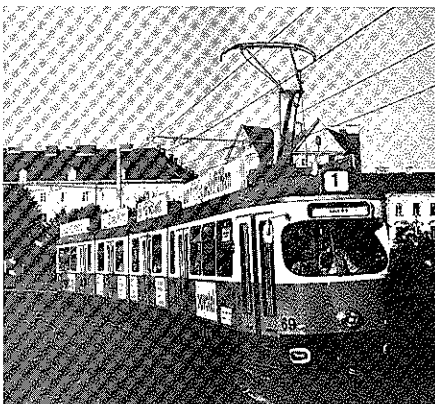
Un PCC à voie métrique d'Anvers en site propre dans le centre ville.

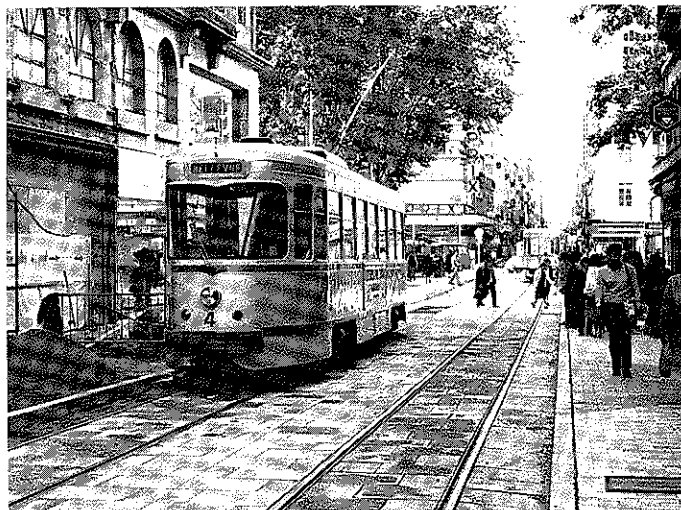
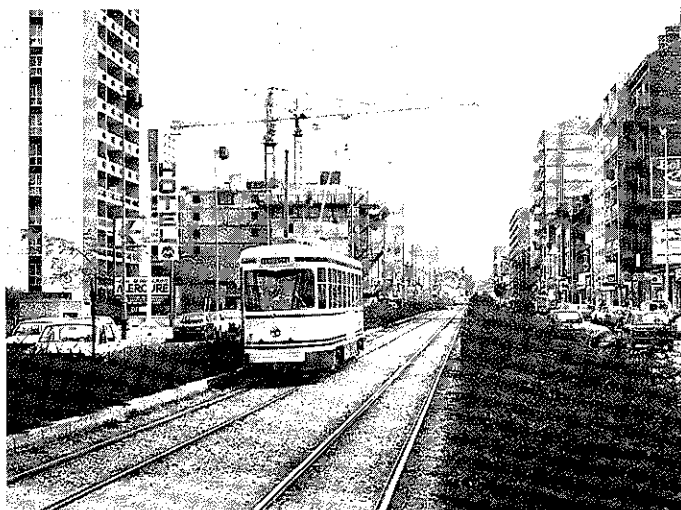
R. Martin.

« Voies vertes » autrichiennes et suisses. Ci-dessous, à gauche, à Linz avec une motrice articulée à 4 caisses sur 5 bogies ; à droite, à Zurich, avec une motrice « 2000 », au cours de mesures de bruit.

Le réseau de Berlin avait développé cette technique dès 1910, mais avait dû renoncer en raison du pourrissement rapide des traverses en bois alors utilisées, inconvénient évité aujourd'hui par le béton.

H. Brandt et P. Malterre.





A Saint-Etienne, les élargissements de voirie permettent la création d'un véritable site propre aux deux extrémités de la ligne (voie encastrée, posée sur traverses bois avec couverture par gravillonnage, protection contre les traversées de piétons par massifs végétaux. Là où l'élargissement n'est pas possible, la réservation est matérialisée par une bande de protection ou des bordurettes. En centre ville, la rue Ch. de Gaulle (Grande Rue) sera progressivement réservée aux tramways et aux piétons : un premier tronçon est en cours d'aménagement (voie recouverte de dalles). P. Malterre

publics ; la voie en site propre est traitée comme une voie encastrée en rails Broca : elle est posée sur une forme en béton remplie d'humus ensemencé de gazon. Les résultats obtenus, tant sur le plan de l'esthétique que sur celui du silence de roulement, sont tout à fait remarquables, mais cette technique est chère et il reste à voir comment attaches et rails résisteront à la corrosion entretenue par une humidité permanente. (11)

L'alternative esthétique à la voie sur ballast c'est donc, même en site propre, une voie encastrée comme celle des tramways traditionnels, avec un revêtement « vert » ou minéral. De plus, cette voie encastrée reste indispensable là où le métro léger croise la circulation générale et sur les sections établies en site partagé avec voitures ou piétons.

On retrouve pour ce type de voie les deux écoles qui coexistent depuis des décennies : la pose des rails Broca — dont la masse linéique atteint, pour le type standard allemand Ri 60, répandu dans toute l'Europe Occidentale, 61 kg/m — soit sur traverses en bois, soit sur une forme en béton, selon une technique qui avait été mise au point à Paris dès 1910. Les deux formules ont chacune leurs partisans, les uns — représentés en France par le réseau de Saint-Etienne — mettant l'accent sur le faible niveau de bruit et sur la facilité d'intervention sur la voie ou la plate-forme, les autres de plus en plus majoritaires semble-t-il, sur le maintien dans le temps, sans entretien, d'une géométrie parfaite de la voie ancrée sur le béton.

D'intéressantes techniques mécanisées de pose de voie Broca sur béton ont été développées ces dernières années par les pays

d'Europe Orientale, confrontés au problème du renouvellement urgent de la plupart de leurs voies pour lequel ils avaient pris un retard considérable. Le réseau de Budapest, en liaison avec l'université, a conçu un système particulièrement ingénieux de pose de rails Broca spéciaux sur des dalles en béton précontraint préfabriquées — les rails reposant sur une bande de caoutchouc et étant littéralement sertis dans les ornières de la dalle au moyen de bandes latérales de caoutchouc. Egalement avec l'assistance de l'université locale, le réseau de Dresde a pour sa part développé un système de pose de voies sur des traverses en béton dont la forme est telle qu'elles s'imbriquent entre elles pour constituer des longrines, la voie étant recouverte de dalles de béton préfabriquées. Fort intéressante est la pose de voies Broca sur tapis bitumineux, de technique très « routière », développée avec succès par le réseau de Dortmund et qui sera vraisemblablement retenue à Nantes.

Ces systèmes, conçus en fonction d'impératifs de mécanisation, ont l'avantage de donner une surface routière propre. Les voies ainsi posées ne réclament que peu d'entretien, hormis le meulage préventif contre la formation d'usure ondulatoire ; ces formules nous paraissent appelées à beaucoup d'avenir.

Lorsque le revêtement reste réalisé par pavage, on utilise maintenant de préférence des matériaux synthétiques en aggloméré dont la forme permet un auto-accrochage entre pavés évitant ou retardant leur déchaussement, ou bien encore un tapis bitumineux classique. Dans tous les systèmes de pose, une attention particulière est donnée à l'étanchéité du revêtement de façon à éviter les dégâts causés par la corrosion sur les rails et les attaches, le pourrissement des traverses lorsqu'elles sont en bois et les désordres dans la fondation de la voie. Pour ce faire, on utilise entre rail et revêtement, et entre les dalles lorsqu'elles existent,

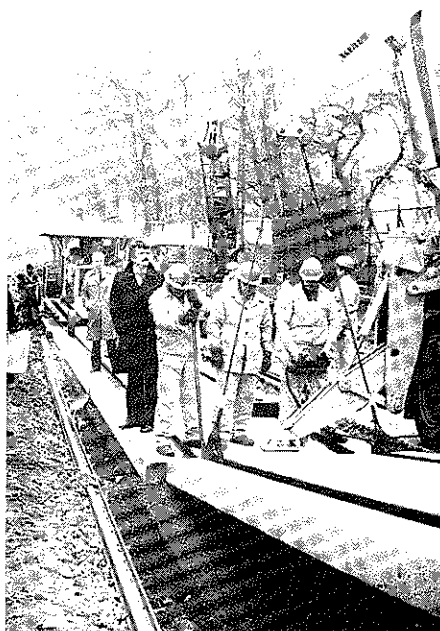
des joints en produits bitumineux qui restent plastiques et suivent donc la faible mais réelle flexion du rail au passage des véhicules.

Pour les sections en tunnel ou en viaduc, on a recours naturellement aux techniques utilisées habituellement en métro : pose de voie sur traverses et ballast, pose de voie dite « directe » sans ballast. Pour les premières, signalons l'élément nouveau apparu avec les traverses en polyuréthane développées par la firme autrichienne Voest-Alpine, généralisées à Vienne (lignes de métros et tramways sur les ponts), essayées avec succès sur une section souterraine du métro léger de Hanovre et aussi sur le métro de Milan. C'est une solution chère, mais très efficace contre la transmission des bruits solides et contre celle des « courants vagabonds » (courants de retour de l'alimentation traction qui, au lieu de revenir par les rails à la sous-station, cheminent par la terre et surtout par les canalisations de tous types, les détruisant par effet d'électrolyse), éternelle plaie des réseaux urbains à traction électrique en courant continu ; de plus, une traverse ne pèse que 30 kg (contre 200 kg et plus pour une traverse en béton), ce qui facilite grandement leur manutention. Parmi les poses « directes », citons celle développée par M. Braitsch à Cologne, dans laquelle les rails reposent élastiquement sur des blochets eux-mêmes reliés au radier par des élastomères (« œufs de Cologne »), celle, très onéreuse de la dalle flottante (Mass Feder System) du Professeur Eisenmann, qui peut trouver application dans des cas très spécifiques, et naturellement la pose sur traverses bi-bloc et chaussons élastiques largement utilisée sur les lignes nouvelles du métro parisien. Le recul manque le plus souvent pour apprécier la valeur respective des divers systèmes utilisés, dont certains sont très complexes, mis à part quelques essais franchement malheureux (pose de voie directe appliquée en 1966 dans le tunnel du tramway de Marseille).

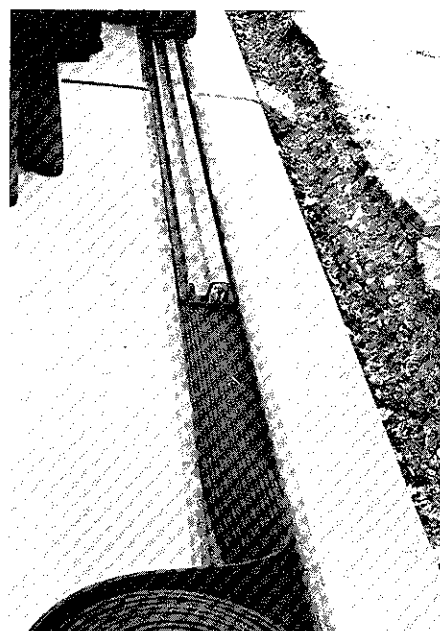
(11) Le gain est de 12dB (A) par rapport à la pose béton classique du réseau. A une distance de 7,5 m et à la vitesse de 40 km/h sur cette voie, le « Tram 2000 » donne 73dB (A)... un autobus donne en moyenne 84dB (A) !



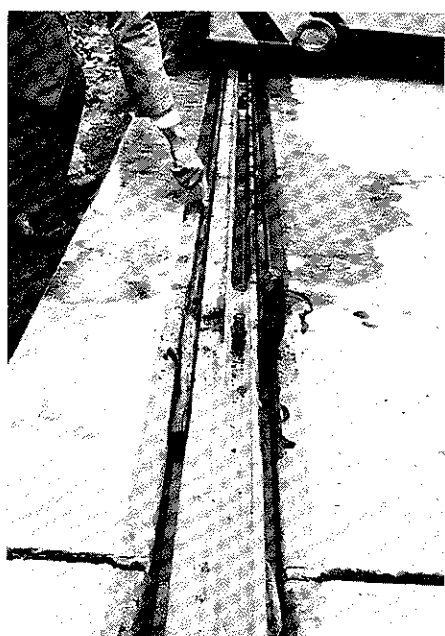
1



2



3



4

Ci-dessus, processus à la pose de voie étudiée par l'université de Budapest

1 - Préparation de l'assise en matériau bitumineux

2 - Pose de dalles en béton

3 - Pose du rail Broca sur semelle caoutchouc

4 - sertissage du rail par 2 bandes de caoutchouc latérales.

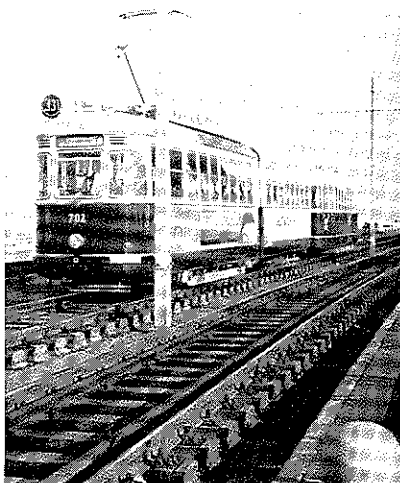
On ne peut disconvenir de l'originalité de ce type de pose qui, cependant, engendre bien des questions qui restent sans réponse. Certains inconvénients évidents devront être corrigés, en premier lieu la qualité de dressage des rails encore insuffisante pour garantir un bon confort.

P. Malterre



Dans la station souterraine « Hauptbahnhof » d'Essen, pose de voies sur ballast avec revêtement anti-salissure. Les attaches pour le rail de la future voie normale sont prévues. Matériel « Stadtbahn » type M8C à hacheurs (1982).

P. Malterre.

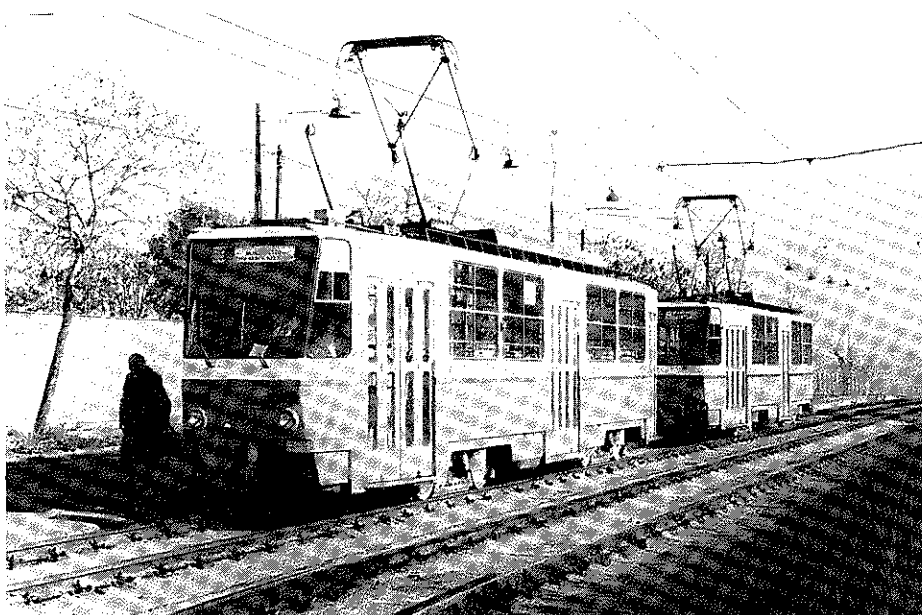


A Vienne, des traverses... en matière plastique. Ici sur le pont de Floridsdorf avec une interposition de chaussons en caoutchouc. Rame articulée « Nachläufer » avec remorque à bogies.

J. Pascal.

Signalons, sans entrer dans le détail, les progrès remarquables réalisés dans les appareils de voies, aussi bien dans la rigueur de leur géométrie, même en courbe de 30 ou 50 m pour ceux faits en rails à gorge, que pour accroître leur longévité (utilisation exclusive d'appareils à lames flexibles quel que soit le rayon). Le franchissement des cœurs en roulant sur les boudins — technique classiquement utilisée en tramways, mais aussi jusqu'à très récemment sur le métro parisien — reste pratiqué, mais l'élargissement des bandages ne le rend plus indispensable et il semble que la tendance soit d'y recourir de moins en moins.





La circulation des rames de métro léger sur des voies ferrées parcourues aussi par le matériel ferroviaire du réseau national n'est pas une hypothèse d'école. C'est une situation que l'on rencontre en Allemagne (Cologne, Francfort, Karlsruhe) ou en Hongrie (Budapest). Elle est envisagée, au stade actuel des études, pour le futur réseau de Toulouse entre Toulouse-Saint-Cyprien et Colomiers sur la ligne d'Auch, et d'autres applications peuvent très bien apparaître dans l'avenir.

Le problème majeur qui est ainsi posé est celui de la compatibilité entre la roue de type tramway qui doit s'accommoder du rail à gorge étroite, seul acceptable en milieu urbain, et l'appareil de voie U.I.C. calculé pour la roue ferroviaire dont les cotes sont différentes. Il est résolu d'une part, comme nous l'avons

indiqué, en élargissant le bandage de la roue tramway qui passe de 85 à 125 ou 135 mm environ — ce qui nécessite des précautions dans l'établissement des voies encastrées pour ne pas rouler à la fois sur le rail et sur le revêtement routier adjacent —, en s'interdisant un diamètre de roue inférieur à 680 mm environ et, comme cela, dans certains cas, ne peut suffire à garantir contre le risque de discontinuité dans le guidage ou de « chute » de la roue tramway dans la lacune du cœur de l'aiguille U.I.C., d'autre part :

— soit en conservant tel quel cet appareil, mais en épaississant le voile de la roue tramway vers l'intérieur pour conserver le guidage par le contre-rail et les pattes de lièvre de l'aiguille ferroviaire (solution appliquée à Francfort).

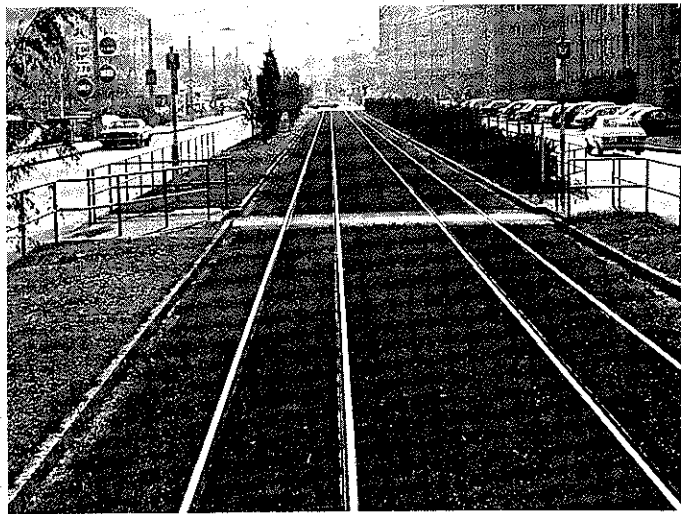
— soit en conservant une roue de forme habituelle, mais en adoptant là où ce sera nécessaire des appareils de voie à cœur mobile flexible ou à pattes de lièvres mobiles, assurant la continuité des surfaces de roulement et de guidage. Cette solution vient d'être adoptée par le réseau de Cologne pour lancer son matériel « Stadtbahn B » sur la nouvelle ligne 16 (Cologne Mulheim Platz-Bonn-Bad Godesberg), longue de 44 km, qui comporte dans Cologne des sections en rails Broca Ri 60 et dont les voies, entre Cologne et Bonn, sont parcourues par les convois de marchandises du KBE (Köln-Bonner-Eisenbahnen). Compte tenu des avantages de confort et de silence donnés par ces appareils de voie, c'est, nous semble-t-il, la solution la plus intéressante pour régler ce problème, mais c'est sans doute aussi la plus onéreuse : le réseau de Karlsruhe, en montant sur les appareils de voie communs à la DB des contre-rails de guidage surélevés de 10 mm et en recourant à des bandages très larges à pu, sans autre artifice, assurer la compatibilité des circulations tramways — chemin de fer et prolonger une ligne qui utilise sur 3 km une voie unique où circulent toujours des trains en traction diesel sous la caténaire 750 V des tramways.

Nous avons jusqu'ici traité de l'évolution intervenue dans les techniques relatives à la construction et à la pose des voies. Il faut en venir à celle relevée dans l'entretien de ces voies, poste très important pour tout réseau urbain. Rappelons en effet que si les charges par essieu des métros légers sont modestes (de l'ordre de 6 à 8 t au plus, soit moins que la charge maximale de l'essieu routier), le tracé et le profil sont parfois sévères et surtout les performances exigées font que l'on travaille souvent à la limite d'adhérence, avec des matériels homogènes se présentant donc sur tout point de la voie de façon parfaitement

Ci-dessus, motrices Tatra T5 de Budapest circulant sur une voie fixée directement sur béton (y compris les appareils de voies).

Ci-dessous, à gauche, pose de voie sur traverses béton bi-blocs avec entretoises tubulaires (tramways de Rotterdam, ligne de Schiedam), à droite, la « voie verte » de Linz (écartement 0,900 m) sur laquelle les motrices peuvent rouler à 70 km/h. Remarquer l'aménagement de la traversée des piétons.

R. Martin et P. Malterre.



Milan en 1980 : solution tramway classique pour les appareils de voie avec pose sur traverses bois, roulement à fond d'ornière ; les aiguilles sont à lames flexibles. Avant soudure complète des appareils, les éclissages sont provisoires.

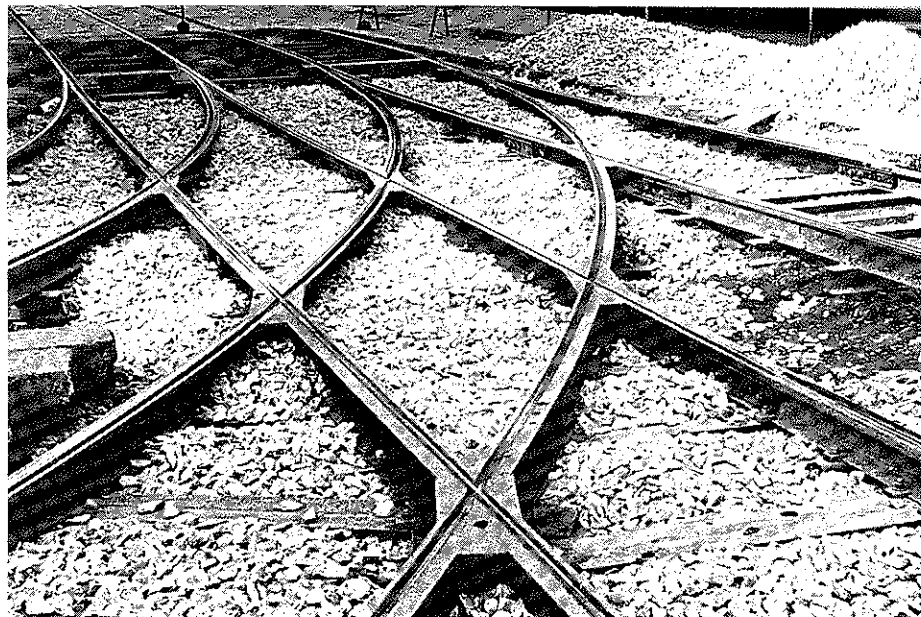
P. Malterre.

répétitive. Ainsi les contraintes imposées aux rails, en particulier, sont-elles très dures et favorisent leur rapide dégradation.

Jadis l'entretien des voies faisait appel, sur les réseaux de tramways, à une main-d'œuvre nombreuse, grevant lourdement les frais d'exploitation. Quantité d'opérations sont maintenant mécanisées et simplifiées : par exemple, l'indispensable curage des rails à gorge, le nettoyage des appareils de voies et leur graissage, etc. sont faits très rapidement, de jour, par des engins spécialisés, servis par un seul agent, pouvant circuler aussi bien sur route que sur rails et donc aussi bien utilisables sur les sections en site propre que sur celles en site banal. Deux firmes allemandes (Schörling et Zweiweg), travaillant sur des châssis Unimog ou autres, livrent des engins extraordinairement polyvalents, d'une souplesse d'utilisation remarquable et qui se substituent très avantageusement aux trains de travaux traditionnels : cette petite révolution est génératrice d'économies fort importantes. De même, pour les grands réseaux qui ont un appréciable kilométrage de voies établies en site propre, on utilise des engins d'entretien tels que bourreuses, niveleuses, etc. directement dérivés de ceux employés sur les chemins de fer nationaux : les constructeurs s'intéressent de plus en plus à ce marché.

La lutte contre l'usure ondulatoire des rails, autre éternelle plaie des réseaux urbains, se fait essentiellement par meulages préventif et curatif, au moyen d'engins ferrés qui sont le plus souvent des motrices anciennes transformées à cette fin. On utilise maintenant des véhicules meuleurs à grand rendement, c'est-à-dire équipés de plusieurs patins de meulage successifs, logés dans l'empattement pour les voitures à deux essieux, à la place des freins électromagnétiques pour les voitures à bogies, la caisse contenant la citerne d'eau de refroidissement et le système de vérins hydrauliques commandant l'application des patins. Le véhicule meuleur parcourt le réseau à la vitesse de 30 km/h environ, ce qui permet de l'insérer sans difficultés entre les rames en exploitation normale et de ne pas avoir à faire appel au travail de nuit, coûteux et pouvant gêner les riverains. L'usage des meules rotatives, donnant d'excellents résultats sur les chemins de fer, est en général proscrit pour des raisons de bruit — sauf en tunnel —, le passage régulier de meules planes suffisant souvent à donner la qualité de surface essentielle pour obtenir un roulement silencieux.

Depuis fort longtemps, les réseaux de tramways utilisent le rechargement des rails par soudure électrique pour lutter contre leur usure rapide en courbe de faible rayon. La bonne exécution de cette opération dépendait



jadis de l'habileté du soudeur ; maintenant il existe des appareils automatiques qui dosent la quantité de métal d'apport nécessaire pour retrouver le profil d'origine, qui évitent les risques de trempe excessive de l'acier et donc de cassure de rails et qui donnent, après polissage, un travail reconstituant exactement le rail neuf.

Mais à présent cette technique est aussi de plus en plus utilisée avec succès pour lutter contre l'usure ondulatoire, concurremment au meulage qui présente l'inconvénient d'enlever la couche d'écrouissage du rail. On recharge en effet la table de roulement du rail avec des électrodes spéciales : le métal ainsi rapporté

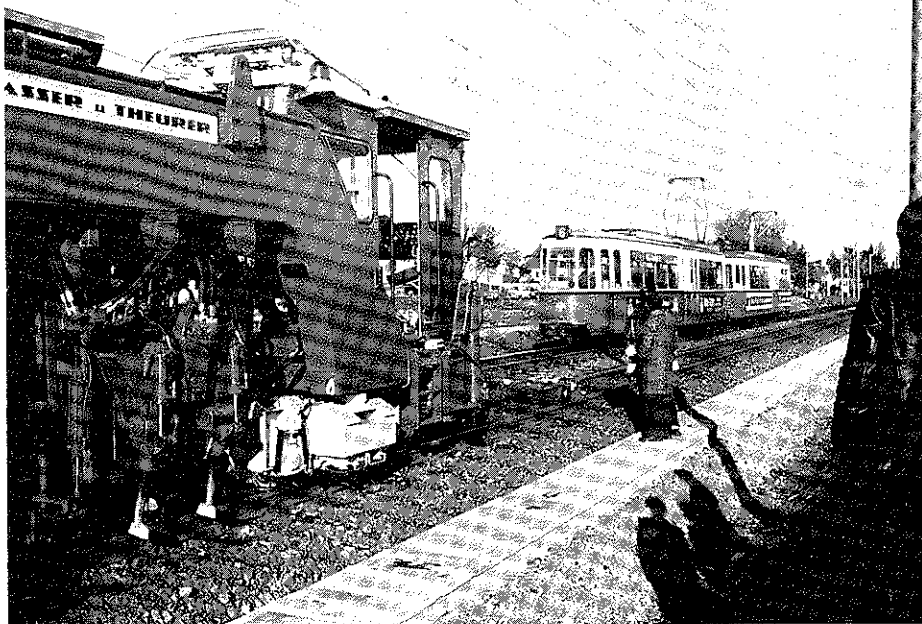
présente une résistance traction très élevée (supérieure à 140 daN/mm<sup>2</sup>) et un coefficient de rugosité très faible. L'utilisation de ces rails permet de nourrir les meilleurs espoirs dans cette lutte qui dure depuis bientôt un siècle. . .

L'auteur est conscient du risque qu'il a couru en s'étendant sur le chapitre de la voie qui passionne moins que d'autres. Il était cependant nécessaire de souligner l'importance de l'évolution enregistrée — homogène à celle relevée pour le matériel roulant — et de rappeler à l'occasion cette règle d'or : comme pour le chemin de fer, la qualité d'un réseau de tramway ou de métro léger se mesure d'abord à celle de sa voie.

Chantier de pose d'appareils de voie dans un carrefour de Zurich (Parade Platz). Leur complexité laisse bien voir la différence considérable entre une pose ferroviaire classique et la pose de voies en chaussée. De tels ensembles sont intégralement soudés : la maîtrise de réalisations de ce genre est le fruit d'une longue expérience.

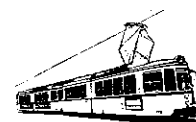
P. Malterre





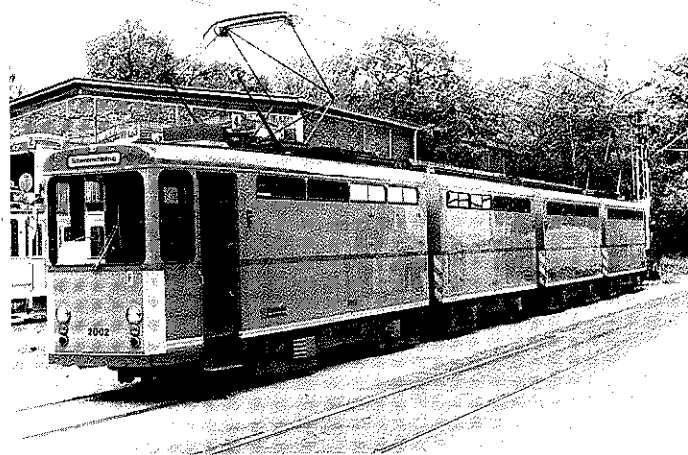
Ci-contre  
Bourreux-niveleuse à voie métrique utilisée sur les tramways de Stuttgart (SSB). Cette machine circulant sur voie métrique possède un dispositif de déplacement des bourroirs qui lui permet de bourrer une voie normale : c'est nécessaire dans le cas de Stuttgart dont le réseau passe progressivement de la voie métrique à la voie normale.

J. Pascal



Ci-dessous  
à gauche : le parc des réseaux de tramways est souvent riche d'engins de service extraordinaires. Ici, une Mercedes grasseuse de rails Broca du réseau de Francfort.  
A droite : l'exemple le plus marquant de meuleuse moderne à patins est constitué par ce train meuleur. Il a été obtenu à partir de la transformation de matériel ancien réalisée par les services municipaux de Francfort dans leurs propres ateliers. Ce train comporte un dispositif de réglage hydraulique de la pression des patins ainsi qu'un dispositif de contrôle du travail effectué.

P. Malterre et M. Mertens.

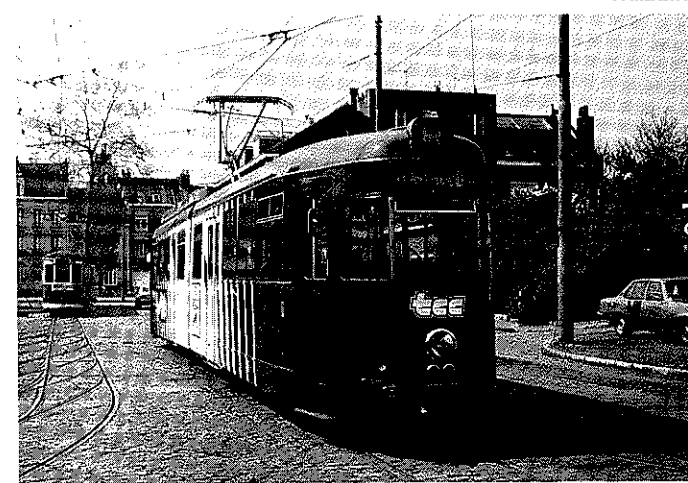
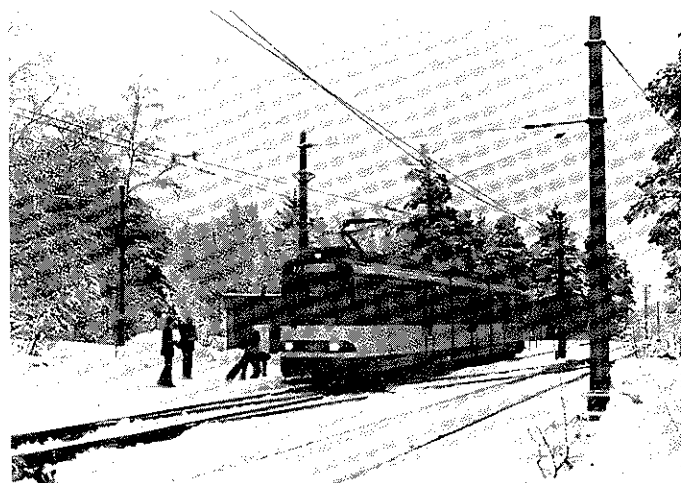


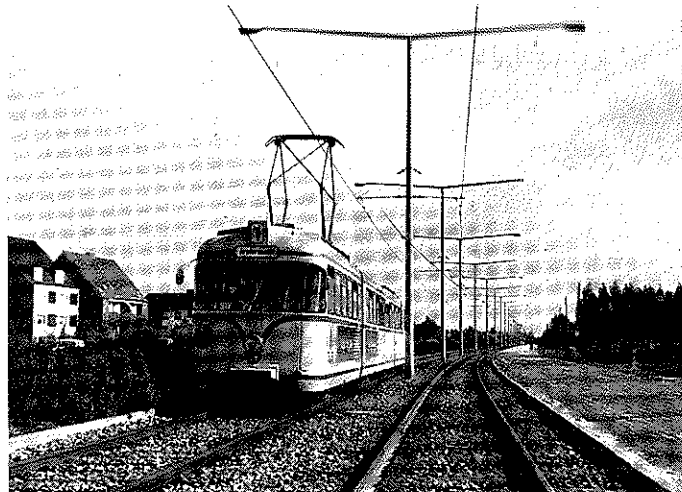
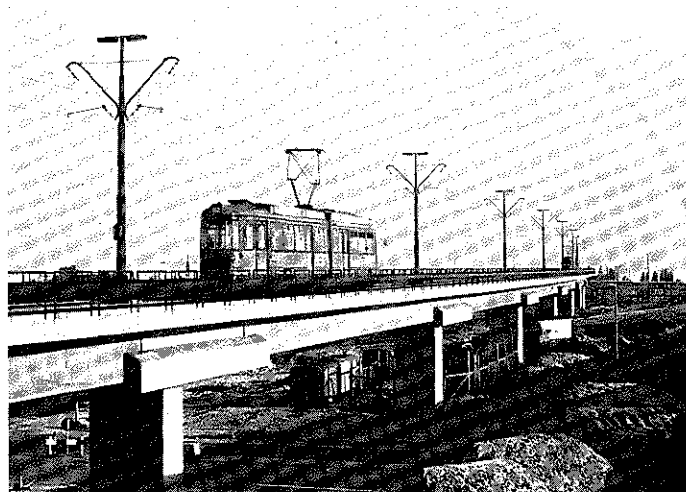
Une percée allemande à l'exportation : une motrice de Düsseldorf en essais à Oslo pendant l'hiver 1977-78. Une commande d'une vingtaine de motrices, construites sous licence Düwag, a suivi.

J. Von Rohr

Les attermoissements de la politique « tramways » en France sont symbolisés par cette photo prise en mai 1982 à Lille (dépôt de Marcq). On y voit une des motrices articulées Düwag achetées d'occasion à Hertzen (R.F.A.) et entièrement rénovée par le réseau... en attendant une décision sur le sort définitif du tramway.

P. Malterre.





Lignes aériennes esthétiques :

à gauche, sur le viaduc construit en 1969 à Rotterdam sur la ligne de Schiebroek, enjambant successivement le chemin de fer, un canal, une voie à grande circulation et une autoroute.  
à droite, solution retenue à Brême, élégante et économique : les supports des lignes de contact sont utilisées comme lampadaires d'éclairage.

R. Martin et P. Malterre.

## INSTALLATIONS DE TRACTION ÉLECTRIQUE

De nouveau on trouve ici l'opposition entre les réseaux développant le métro léger à partir de tramways existants, donc avec l'obligation de compatibilité entre les installations anciennes ou nouvelles, et les réseaux nouveaux où on a pu reposer à la base certains problèmes, tels que le choix de la tension d'alimentation ou la répartition des sous-stations.

On constate que les réseaux nouveaux emploient le courant continu à 750 V, quasiment unifié sur les réseaux de métro classique. Le 1 500 V est parfois envisagé : à Nantes une étude comparative menée par la S.E.M.A.L.Y. a conclu en faveur du 750 V. Les économies sur les installations fixes qu'aurait permises le recours au 1 500 V étaient en effet compensées et au-delà par la complication des équipements embarqués, exigeant un volume accru et obligeant à rehausser le plancher des véhicules.

Les schémas d'alimentation électrique tendent, contrairement aux errements anciens, à augmenter le nombre de sous-stations puisqu'elles sont à présent télécommandées sans frais de gardiennage, et à éliminer les feeders souterrains établis sous les trottoirs et les chaussées car ils sont coûteux et surtout vulnérables lorsque des travaux de toute nature exigent de creuser des tranchées. Les puissances installées, pour les niveaux de service les plus courants, sont de l'ordre de 1 000 à 1 500 kW par sous-station (sauf cas particuliers aux nœuds du réseau) et de l'ordre de 500 kW au kilomètre de ligne, ceci n'étant bien entendu qu'un ordre de grandeur. La commande des sous-stations, sectionneurs, etc. est ramenée au poste de commande centralisée qui contrôle également l'exploitation.

Côté ligne aérienne, on a recours soit à la caténaire de type ferroviaire en banlieue, là où les véhicules roulent vite, soit au fil de contact simple avec suspension souple de types divers dans les sections urbaines où la ligne aérienne doit se voir le moins possible. Des progrès notables ont été réalisés en ce domaine grâce aux nouveaux matériaux isolants maintenant disponibles : il faut citer la solution élégante adoptée à Cologne et reprise récemment sur la ligne « Stadtbahn » Essen-Mulheim dans laquelle est utilisée en courant continu 750 V la caténaire simplifiée mise au point par la SNCF pour le courant monophasé 25 kV-50 Hz. Toutes les pièces des supports étant faites de matériaux isolants, il n'est plus nécessaire d'utiliser des isolateurs. De même, faut-il mentionner l'emploi sur le réseau de trolleybus de Grenoble — cette solution étant naturellement reconvertible au tramway — de fils transversaux en matière plastique supprimant eux aussi le besoin d'isolateurs.

La prise de courant par pantographe avec

bande d'usure au carbone garantit un captage parfaitement silencieux sans arcs et évite le parasitage des télévisions des riverains ; la perche avec frotteurs au carbone est en passe d'être abandonnée sur les réseaux américains qui y sont longtemps restés fidèles, en raison de l'augmentation de l'intensité appelée sur les matériels modernes, de la circulation en souterrain où un déperchage est très gênant, et du retour en faveur du matériel bi-directionnel.

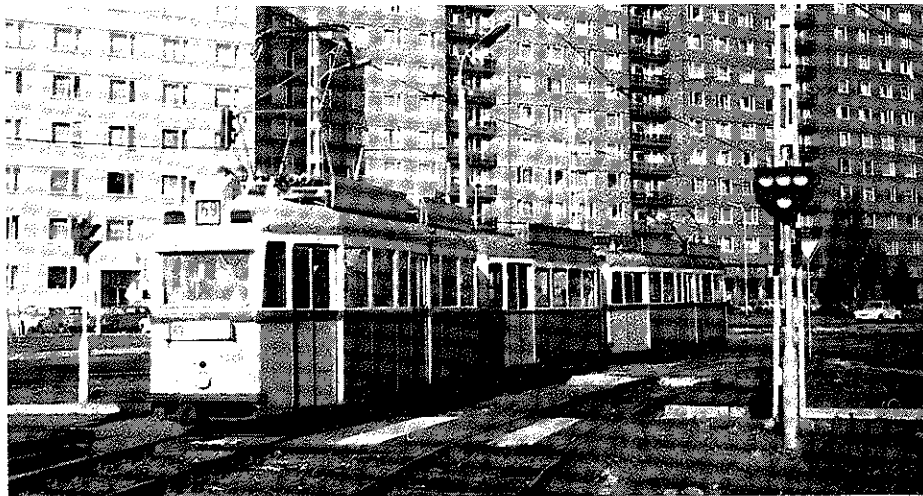
Pour l'entretien de ces lignes, en général fort simple (car contrairement aux lignes trolleybus, il n'y a ni usure latérale des fils, ni appareils compliqués comportant des pièces mobiles aux bifurcations), on utilise, comme pour la voie, des engins rail-route équipés de tourelles élévatrices ou de nacelles orientables à commande hydraulique qui représentent un progrès considérable par rapport aux anciennes « voitures-échelles » des tramways traditionnels, notamment pour les conditions de travail du personnel et sa sécurité.



Un engin "rail-route" Magirus / Schörling destiné à l'entretien des lignes aériennes du réseau de Brême.

P. Malterre





Feux de carrefour pour tramways à Budapest avec une ligne récemment construite.

P. Malterre.

## SIGNALISATION

Le métro léger est dans ce domaine aussi parfaitement hybride entre le tramway classique, conduit « à vue » comme un véhicule routier, et le métro classique fonctionnant selon les règles ferroviaires avec des itinéraires entièrement couverts par une signalisation de sécurité, complétée par des dispositifs d'arrêt et même de pilotage automatiques.

Les solutions adoptées ressortent donc du compromis. Dans les sections en surface, on circule à vue en observant les indications données par la signalisation de carrefours (équivalent des feux routiers) ; de façon à « décrocher » les phases de la circulation métro léger des phases routières, on utilise un code de signaux formés de points ou traits lumineux blancs ; une barre longitudinale indique l'arrêt, une barre verticale l'autorisation de franchissement, une barre oblique

l'autorisation de franchissement en tournant dans la direction indiquée. Ces signaux sont commandés par les armoires de feux routiers et ne sont pas de sécurité au sens ferroviaire habituel. On verra plus loin que les cycles de feux sont en fait influencés, sinon directement commandés, par l'approche de rames en site propre, dans le cadre de la priorité qui leur est en principe accordée.

Dans les sections en souterrain, on évite la circulation à vue car l'expérience a montré, malheureusement par quelques accidents graves, que les conducteurs sont incapables d'apprécier correctement les distances en toutes circonstances et en tout temps. On a donc recours à une signalisation lumineuse d'espacement, avec des cantons en général courts compte tenu de la faible longueur des rames et de leur forte capacité de décélération, et qui est permissive, c'est-à-dire que le feu

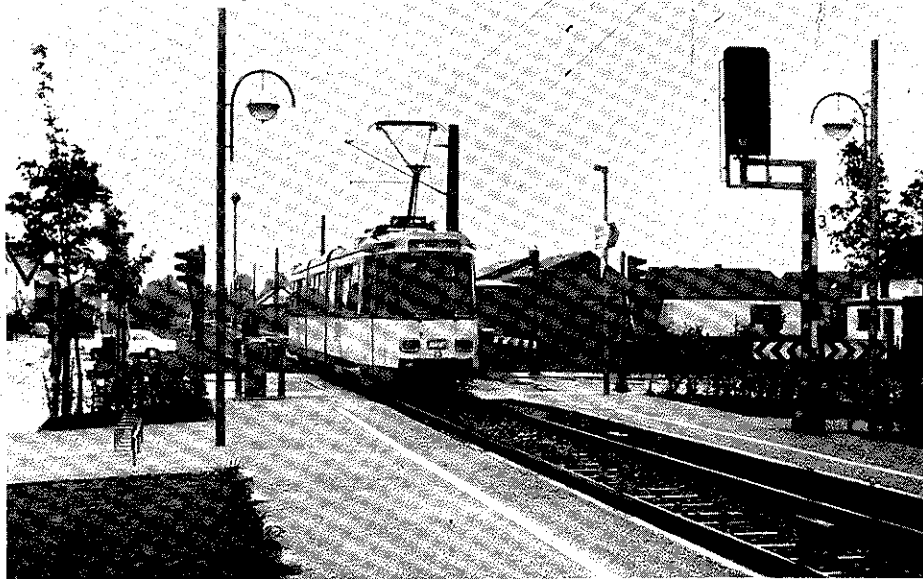
rouge est franchissable à basse vitesse. Cette signalisation est le plus souvent complétée par des dispositifs de contrôle de franchissement de signaux et de contrôle de vitesse qui commandent l'arrêt d'urgence en cas de comportement engageant la sécurité. Tous ces appareillages sont traités en sécurité ferroviaire ou s'en approchent grâce à des schémas redondants.

L'inconvénient principal en est, outre le coût, la réduction de débit par rapport à celui permis par la marche à vue. Par exemple, il est remarquable de noter que des tramways se suivant à vue sur des sections en surface, avec des intervalles de l'ordre de 10 à 15 secondes (soit à 36 km/h, une distance de 100 à 150 m), ce qui est tout à fait courant, doivent à des entrées de tunnel s'espacer pour respecter un intervalle de 90 secondes, d'où des attentes sur les trémies d'entrée : le spectacle en est couramment donné à Bruxelles et surtout à Essen où la section souterraine est quasi saturée avec 56 tramways par heure et par sens alors qu'en surface, en marche à vue de type routier, il serait possible d'en faire passer bien davantage avec une vitesse de pleine marche de l'ordre de 20 à 25 km/h.

Cette hétérogénéité de débit oblige les réseaux à prévoir des dispositifs de régulation permettant, lorsqu'il y a tronc commun souterrain au centre de la ville, de faire arriver « en ordre » les différentes rames pour éviter précisément l'engorgement devant les trémies d'accès. C'est ce qui est parfaitement réalisé à Hanovre.

A droite, signalisation type DB et passage à niveau protégé par demi-barrières sur la ligne de l'Albtalbahnhof de la banlieue de Karlsruhe. Cette section est parcourue par des trains de marchandises de la D.B.  
A gauche, signalisation spéciale de carrefour « tramways » : ici, les deux feux blancs verticaux donnent l'autorisation de franchissement (Hanovre).

P. Malterre.



Un dépôt moderne de tramways : celui de Mulheim, qui est en fait une réutilisation d'un ancien atelier de la DB.

P. Malterre

## ATELIERS ET DEPOTS

On note ici une interpénétration remarquable entre les dispositions habituelles utilisées pour les autobus et celles utilisées pour les métros classiques. Dans les dépôts, le sol est utilisé comme avec des engins routiers qui se gareraient les uns derrière les autres, avec une très grande facilité de circulation pour le personnel ; par contre, les installations d'entretien ressemblent de plus en plus à celles de métro type conventionnel.

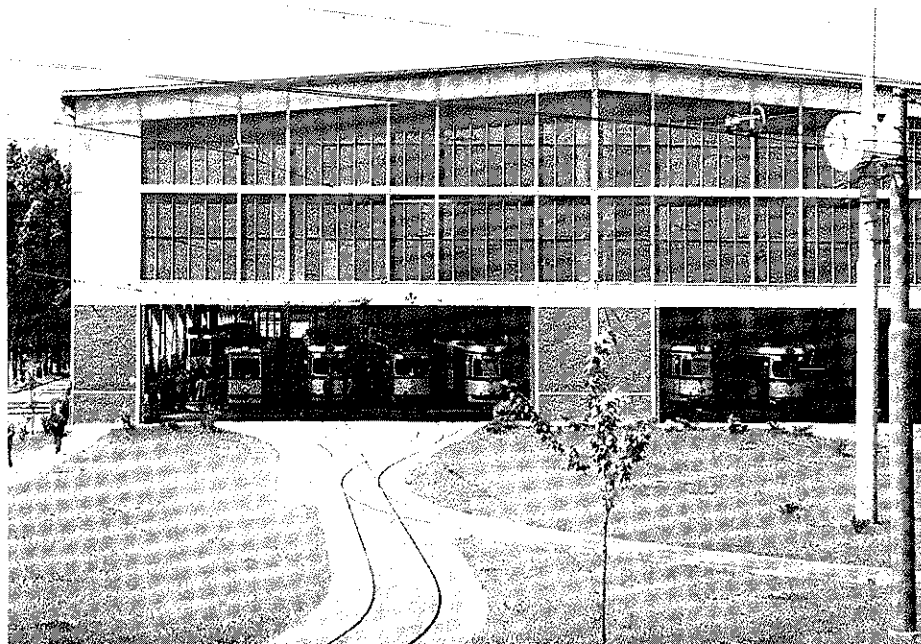
Notons naturellement l'adoption de machines à laver automatiques, l'installation de distributeurs de sable du genre station-service, les sablières étant remplissables depuis l'extérieur de la voiture, la possibilité de « tests » par enfichage de prises de mesures, des micro-processeurs se chargeant de contrôler le bon fonctionnement d'un nombre important d'organes, toutes dispositions tendant à faciliter l'entretien courant.



Présentation en janvier 1981, au dépôt de Braunschweig, du matériel "Stadtbahn" construit non par Düwag, mais par Linke-Hoffmann-Busch avec bogies Simotrac (Siemens-Rheinstahl).

G. Scholtis.

L'emploi extensif de l'électronique qui ne réclame plus d'entretien préventif, mais seulement des contrôles de bon fonctionnement par sondage et un entretien curatif sur signalisation, a bouleversé les méthodes de dépannage. En effet, sur une voiture signalée avariée, on remplace à l'atelier l'organe en cause identifié, soit par l'équipement d'auto-



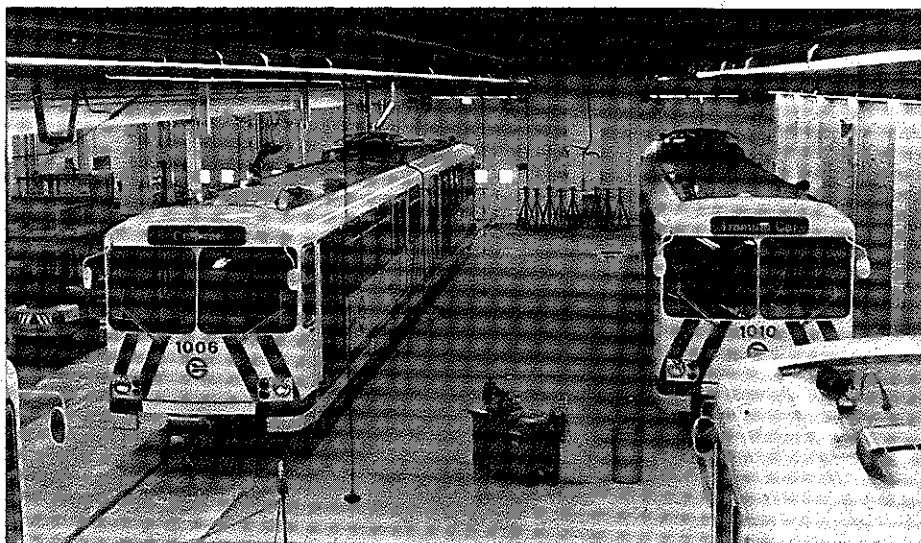
contrôle de la voiture, soit par le dispositif de test en atelier (par exemple hacheur complet ou tiroir de cartes électroniques) et la voiture repart en ligne avec une immobilisation réduite au temps pris par cette opération. L'organe incriminé est ensuite passé sur un banc de simulation qui permet de détecter l'origine de la panne pratiquement jusqu'au niveau du composant, la réparation étant alors faite dans un atelier d'électronique et l'organe étant remis en réserve au dépôt ou à l'atelier. Cette façon de procéder génératrice d'économies importantes et garantissant un travail de qualité, nécessite naturellement une parfaite symbiose entre conception du matériel roulant (démontabilité rapide des organes) et conception de l'atelier d'entretien ; de bons exemples en sont

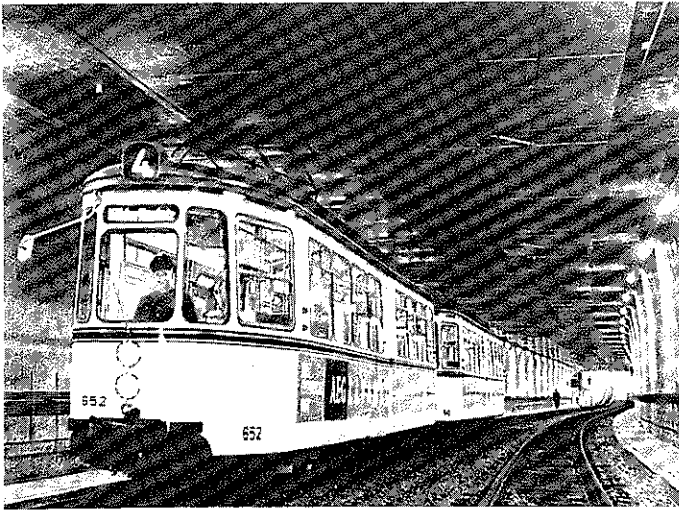
donnés par la R.A.T.P. avec le matériel MF 77 et par le métro de Lyon, et il va sans dire que ces principes seront reconduits sur le tramway standard français.

Une mention spéciale doit être faite pour les meules ou tours à roues en fosse, permettant de traiter les bandages sans aucun démontage. Cette opération, effectuée à cadence relativement rapprochée (30 à 50 000 km), garantit la qualité de la géométrie du bandage et du même coup le silence de roulement pour les voyageurs et surtout les riverains. Les tours à roues, plus coûteux que les meules, mais moins bruyants et assurant un travail plus précis, gagnent peu à peu du terrain pour ces nouvelles installations.

Trois rames Düwag-Siemens U2 d'Edmonton dans les ateliers du réseau, avant l'ouverture commerciale en 1978.

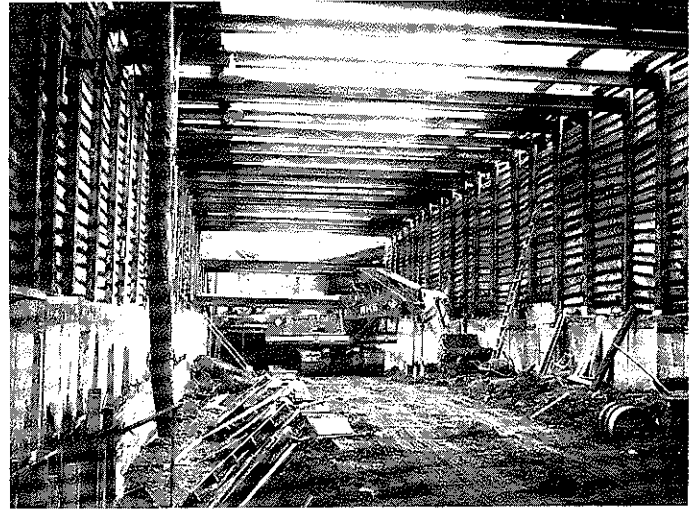
J. Von Rohr





A gauche, rames GT4 de Stuttgart en souterrain prévu pour le gabarit métro. La voie est soudée sans discontinuité dans le souterrain et dans la rampe de 70 ‰/100 donnant accès à la surface.  
A droite, le pré-métro de Stuttgart en construction ; comme à Bruxelles, des rampes d'accès amovibles permettent de rentabiliser les travaux de génie civil au plus vite.

R. Martin



Bruxelles : Trémie de raccordement du tunnel de la Grande Ceinture. Motrice PCC articulée. Voie ballastée avec gravillonnage.

P. Malterre.



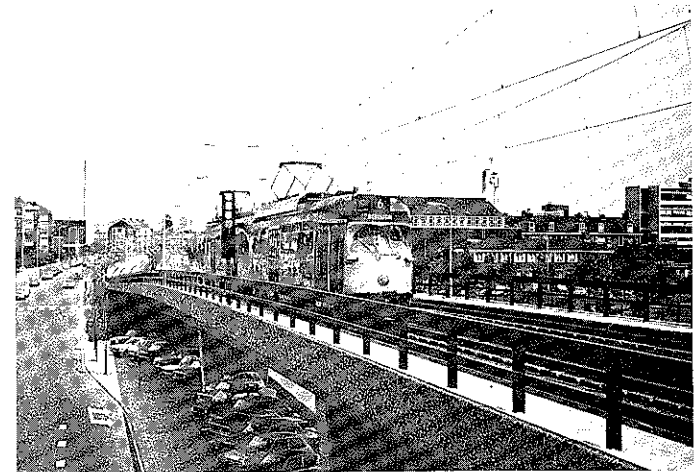
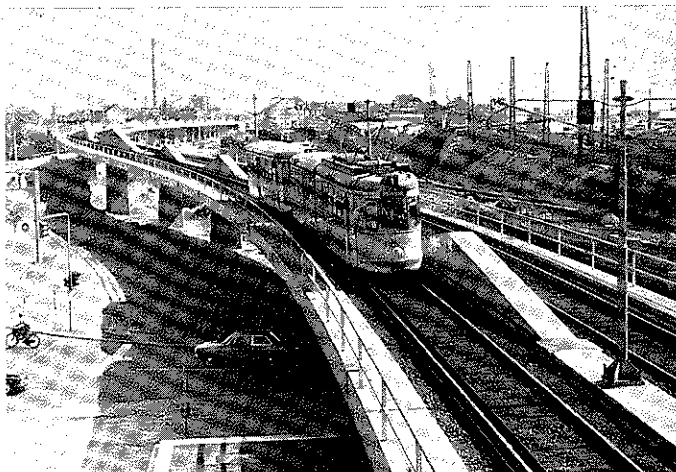
Rotterdam : voie en rail Broca posée sur sable avec gravillonnage, à la station de correspondance métro/métro léger de Maashaven. Sur les nouveaux sites propres, ce type de pose a été abandonné au profit de celui utilisé sur la ligne de Schiedam (voir page 44).

R. Martin.



A gauche, Nuremberg, rame Düwag circulant sur un viaduc maintenant utilisé par le métro.  
A droite, La Haye, rame de 2 motrices PCC BN/ACEC sur le viaduc surplombant la gare centrale. On notera dans les deux cas l'absence totale d'immeubles riverains.

R. Martin et P. Malterre.



On retrouve naturellement dans les postes d'entretien, les deux écoles : fosses ou élévateurs, qui ont pour les autobus leurs partisans respectifs fervents, mais la tendance semble aller en faveur de ces derniers et les installations modernes permettent de changer un bogie défectueux en un temps qui s'exprime à présent plus souvent en minutes qu'en journées, comme autrefois.

Bien entendu, tout ceci est plus valable pour des dépôts et ateliers nouveaux, conçus complètement en fonction du matériel qu'ils vont recevoir (l'influence inverse s'exerçant aussi lorsqu'il s'agit de réseaux neufs), que pour des installations anciennes dont la modernisation n'est pas toujours possible.

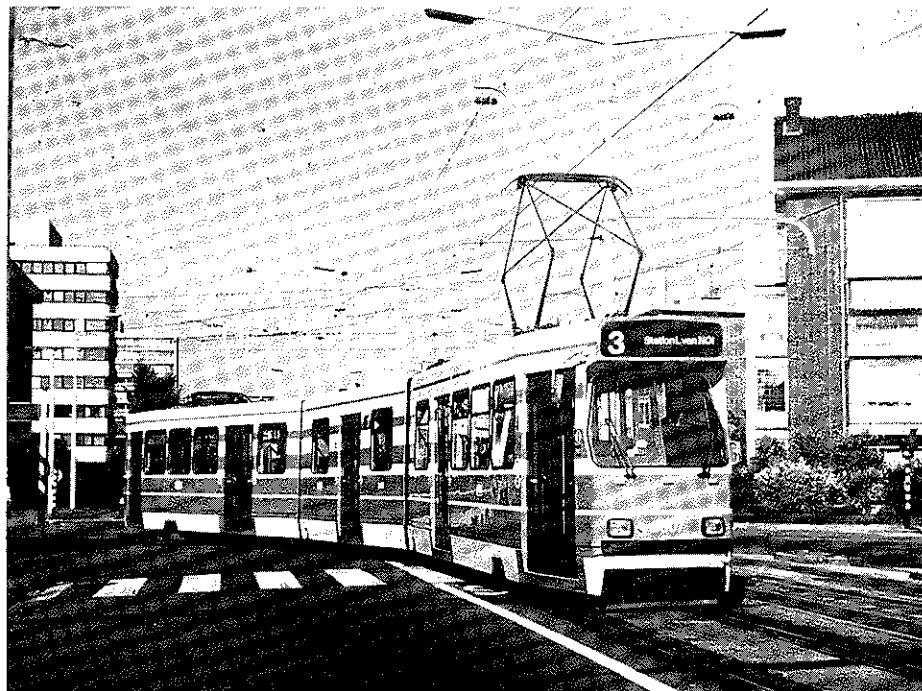
Sans rentrer dans les détails d'organisation, il faut noter que l'on conserve pour le matériel roulant la possibilité de subir une révision générale très complète tous les 500 à 700 000 km (soit tous les dix à douze ans), alors qu'on réforme en général les autobus avant ce kilométrage, sans révision de ce genre, pour des raisons économiques et techniques qu'il n'est pas nécessaire de développer.



## L'EXPLOITATION DES SYSTEMES DE METRO LEGER

Les métros légers sont beaucoup moins vulnérables que les autobus ou les tramways classiques aux perturbations de la circulation, qui ne peuvent se manifester qu'aux carrefours franchis à niveau. Il est donc particulièrement intéressant de les équiper de systèmes de régulation informatisés permettant de décaler les départs pour respecter les intervalles et de donner aux conducteurs les indications nécessaires pour régler leur allure par rapport à une marche-type. Ces systèmes, assez peu performants sur les réseaux d'autobus en raison de l'étendue des perturbations subies par les voitures sans possibilité de réaction, donnent au contraire sur les métros légers des résultats remarquables. C'est ainsi que le réseau de Hanovre, pionnier en la matière avec l'aide du Ministère Fédéral de la Recherche et de la Technologie (BMFT), arrive à garantir statistiquement une précision de  $\pm 40$  s sur les arrivées au terminus par rapport à la marche-type.

Le principe de ces systèmes est assez simple, si la réalisation l'est moins. Par radio (transmission de données), chaque véhicule envoie toutes les 30 secondes environ sa position, mesurée par odométrie entre balises fixes, à un poste de commande centralisée, qui compare sur ordinateur cette position à celle que devrait avoir le véhicule par rapport à l'horaire idéal. Il lui communique en retour un ordre d'accé-



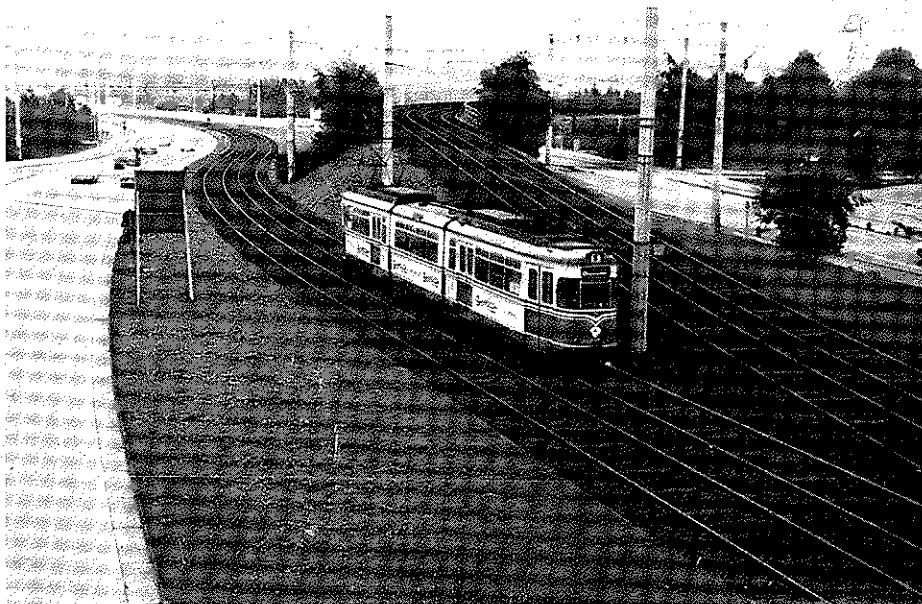
Le nouveau et remarquable matériel construit par La Brugeoise et Nivelles pour le réseau de La Haye, 3 caisses, 4 bogies bi-moteurs BN-PCC, équipement à hacheurs et un niveau rarement atteint de confort et de performances !  
G. Rannou.

lérer ou de ralentir, éventuellement en fonction aussi de la position des véhicules en amont et en aval. De surcroît, il agit sur le fonctionnement des feux de circulation, en accordant à la rame une priorité d'autant plus importante que le véhicule est en retard (passage anticipé du signal de carrefour « au vert » ou prolongation du « vert »).

Il va de soi que toutes ces opérations sont surveillées depuis un poste de commande centralisée où un régulateur dispose de la visualisation de la position des voitures par rapport à leur position théorique et peut rentrer en contact radio-téléphonique avec chaque conducteur pour obtenir des informations supplémentaires ou donner des consignes.

Pose de voie sur traverses et ballast à Dortmund avec intégration du tramway dans un ensemble routier.

R. Martin







Deux « trams 2000 » dans les rues de Zurich : une belle image du tramway moderne. Noter le trottoir élargi au droit de l'arrêt. P. Malterre.

Le réseau de tramways de Zurich — que l'on peut de ce point de vue assimiler au métro léger en égard à l'étendue des priorités dont il dispose — a été un des premiers à développer ce genre de dispositif, dont la généralisation dans les années qui viennent ne paraît plus devoir faire de doute.

L'actionnement des feux de carrefours par les tramways peut aussi être réalisé très simplement, carrefour par carrefour, au moyen d'une commande directe par le véhicule (passage sur une balise, envoi d'un signal radar,

etc.). Plusieurs dizaines de carrefours sont ainsi équipés à Zurich et le temps moyen d'attente pour les tramways y est de 5 secondes, avec un maximum de 10 s. Les gains en vitesse commerciale et surtout en régularité sont extrêmement appréciables.

Un système de ce genre équipe à présent la quasi-totalité des carrefours de la ligne de tramways de Marseille, avec là aussi d'excellents résultats.

En ce qui concerne la perception des titres, la solution qui semble de plus en plus adoptée

est de disposer de distributeurs et d'oblitérateurs en station, le conducteur n'assurant aucune opération de vente et de perception. Mais il existe aussi une solution intermédiaire dans laquelle aux arrêts les plus importants toutes ces opérations se font bien à terre, tandis qu'aux arrêts secondaires, non munis d'appareils au sol, le conducteur assure la vente de quelques titres à un prix en général assez dissuasif. Cette solution évite d'avoir à mettre à chaque arrêt des appareils coûteux et sujets à des actes de vandalisme ; mais elle a l'inconvénient d'introduire un facteur d'irrégularité dans les temps de trajet, réduit donc les performances du système et peut finalement coûter plus cher que la précédente.

Sur les véhicules le recours à l'électronique simplifie singulièrement l'exploitation. Ainsi, à Zurich par exemple, le conducteur affiche sur un dispositif embarqué le numéro de la ligne et du service et les aiguillages rencontrés sur l'itinéraire se mettent d'eux-mêmes, à l'approche du véhicule détecté par une balise, en position correcte, sans aucune intervention du conducteur.

Le même genre de dispositif permet d'annoncer dans les stations la destination des prochaines rames à venir, ce qui est particulièrement intéressant dans les stations où plusieurs rames desservant des directions différentes peuvent se trouver simultanément à quai.

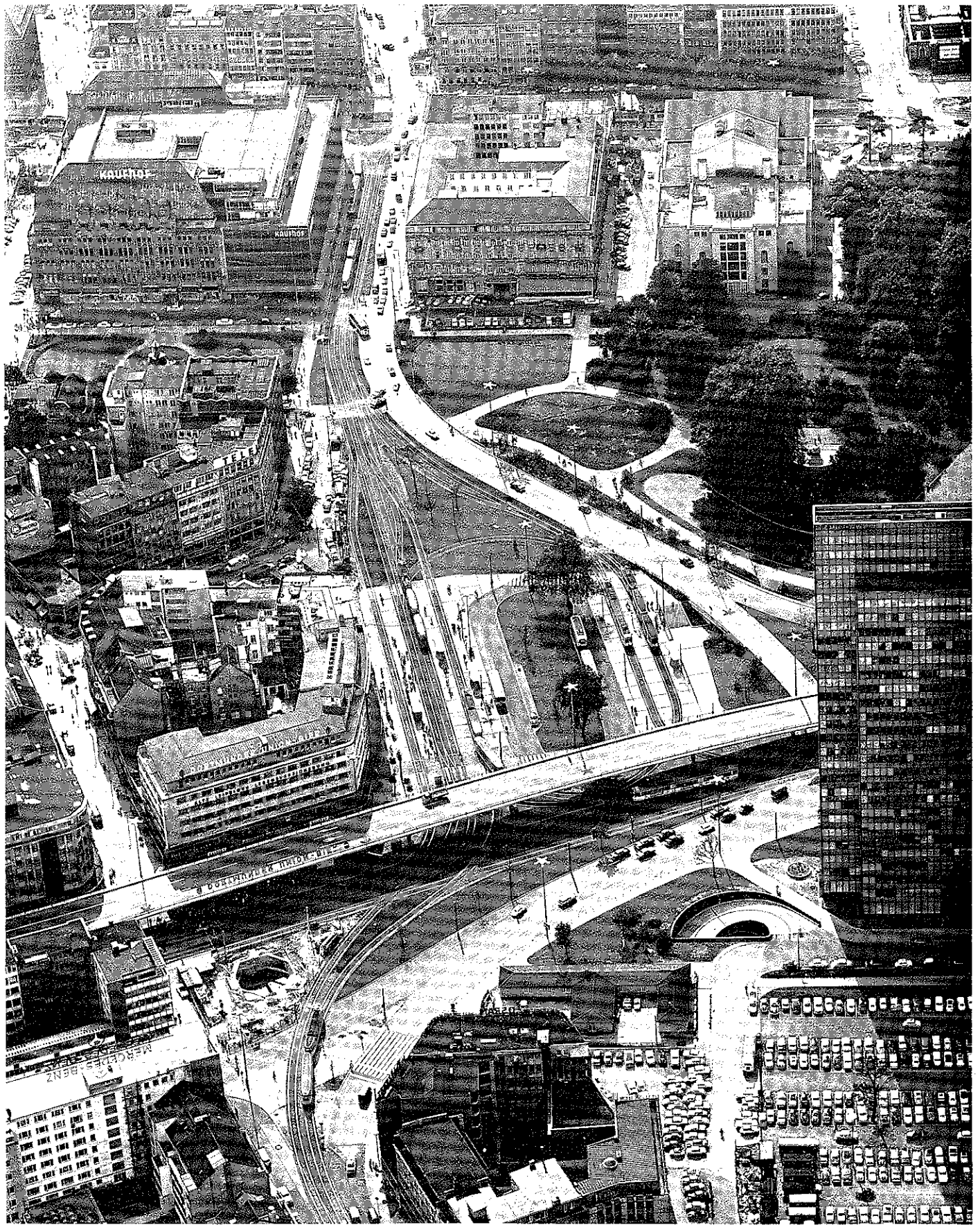
Ces dispositifs garantissent à l'utilisateur une qualité de service qui n'est finalement pas différente de celle observée avec les systèmes en site propre intégral, à un coût d'investissement bien inférieur et avec l'avantage très appréciable d'une plus grande humanisation : maximum de trajets en surface à l'air libre, véhicules disposant d'un conducteur directement accessible, installations fixes non démesurées. Le métro léger, grâce à l'électronique, réussit à concilier la rigueur d'un système de métro classique en conservant la dimension humaine de l'autobus : ce n'est pas une mince performance.

M. Mertens.

Dans de nombreuses villes allemandes tout ce qui concerne la tarification est affiché en 7 langues ! Un bel exemple à suivre notamment lorsqu'on prétend desservir des aéroports ou des gares. Depuis que cette vue a été prise le 26 mai 1974 à Cologne, l'amende forfaitaire pour situation irrégulière a été portée à 40 DM (environ 110 F).



Photographie ci-contre, page 53. Vue aérienne du complexe de la Jan Wellem Platz à Düsseldorf en 1974. Depuis cette date, des modifications profondes sont intervenues, toutes en faveur du tramway et des piétons. Aero Foto A. Schwarzer.



## PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT

S'agissant des quelques 320 réseaux de tramways existants dans le monde, sauf exceptions, leur avenir est assuré. Non seulement on ne supprime plus, mais on s'emploie maintenant à relever les réseaux qui étaient condamnés ; ainsi celui de Lisbonne, qui n'avait fait l'objet d'aucun investissement sérieux depuis un demi-siècle (mais qui heureusement était resté convenablement entretenu), échappe in extremis à la suppression et va bientôt connaître modernisation et extension.

Ne sont plus en fait menacés que les minuscules réseaux qui subsistent dans quelques petites villes, comme Kiel ou Ulm en Allemagne Fédérale ; même là, les projets de suppression motivés par des considérations économiques parfaitement défendables se heurtent à de fortes oppositions.

Il est bien regrettable d'avoir ajouté à cette courte liste le réseau Lille-Roubaix-Tourcoing où malgré l'excellence du site protégé construit par Mongy, amélioré encore ces dernières années, malgré la qualité du service fourni par un matériel pourtant périmé, on songe toujours à y substituer un système conçu pour fonctionner en site propre intégral avec un maximum d'automatismes, sans conducteur. On ne discutera pas ici des avantages réels et supposés de ce parti, mais on notera que sur le site protégé du Mongy il ne pourrait être utilisé qu'en conduite manuelle si bien que l'on se perd en conjectures sur l'intérêt voire le sérieux de cette proposition face à une modernisation progressive du réseau existant.

Aux conditions actuelles, un système de métro léger au sol, sans ouvrage d'art, capable d'écouler un trafic d'environ 3 000 à 5 000 voyageurs par heure et par sens revient, tout inclus (sauf les taxes), à quelques 60 millions de francs du kilomètre pour une longueur de

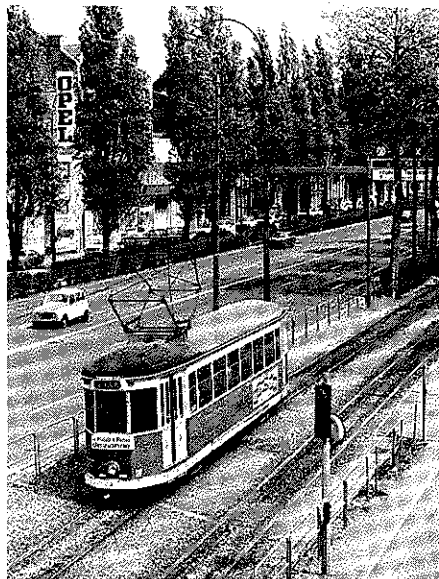
Aux conditions actuelles, un système de métro léger au sol, sans ouvrage d'art, capable d'écouler un trafic d'environ 3 000 à 5 000 voyageurs par heure et par sens revient, tout inclus (sauf les taxes), à quelque 50 millions de francs du kilomètre pour une longueur de ligne de 10 km environ. Des extensions coûtent naturellement moins, tandis que tout ouvrage souterrain fait très rapidement monter les prix. Les calculs montrent que, d'une part, l'économie du réseau est meilleure que dans une solution « tout autobus » en raison des gains de productivité obtenus et de la suppression des autobus dans les artères centrales, là où, en raison de leur très faible vitesse, ils coûtent le plus cher (ceci supposant naturellement une profonde réorganisation du réseau), et que, d'autre part, avec une subvention d'Etat portant sur 50 % des coûts d'investissement — hors matériel roulant — et un relèvement de la taxe dite « versement-transport » jusqu'au maximum légal de 1,5 % sur les salaires plafonnés, la construction de métros légers est à la portée financière de toute municipalité qui le désire, sans mettre à mal les finances

publiques (sauf si on recourt trop volontiers au souterrain), dans des agglomérations à partir de 300 000 habitants.

Le métro léger convient techniquement et économiquement à des débits variant de 3 000 à 10 000 places par heure et par sens. Ce sont des trafics importants, supérieurs à ceux observés sur la quasi-totalité des lignes actuelles d'autobus. Ceci signifie que le métro léger, par ses qualités propres, devra attirer une clientèle nouvelle (ce qui est, par principe même, le but recherché en créant le système) et que le réseau d'autobus devra être refondu pour se rabattre dans toute la mesure du possible sur les lignes ferrées (ce qui présente un intérêt économique évident). Ceci signifie aussi que, en application de la logique même du système, le réseau de métro léger se limitera à un petit nombre de lignes et n'aura absolument pas la densité des anciens réseaux de tramways.

Il faut garder présentes à l'esprit ces considérations pour apprécier, sans pessimisme ou optimisme excessif, les chances de développement du métro léger dans des agglomérations actuellement dépourvues de tramways. Elles peuvent être modulées par la constatation que le système répond parfaitement à des préoccupations actuelles de qualité de vie et de respect de l'environnement (que l'on songe à l'esthétique des « voies vertes » ou à la réussite totale des rues centrales « piétons plus tramways » sans voiture), de même qu'aux contraintes d'économie d'énergie. En sens inverse, il faut observer que la réorganisation de la voirie nécessite de la part des responsables élus des efforts de concertation et d'explication et un indéniable courage politique, puisqu'elle tourne le dos à des errements vieux d'un demi-siècle (12)

Le site propre du Mongy, à l'entrée de Lille (1979). Les motrices de 1950, à bout de souffle, vont être remplacées par des motrices Düwag de 1956 (6 simples) et 1960 (20 articulées à 2 caisses sur 3 bogies), en attendant, souhailons-le, le tramway standard français, version voie métrique. M. Mertens



Tout bien pesé, et puisqu'il faut risquer un pronostic, on peut prudemment avancer le chiffre de deux à quatre réseaux nouveaux dans notre pays d'ici la fin de cette décennie, avec une extension plus forte dans la décennie suivante grâce à l'effet d'entraînement des premières réalisations, surtout si à Paris...

En Europe Occidentale, plusieurs villes ayant supprimé les tramways envisagent leur réintroduction. Deux sont passées à la réalisation : Gênes et Utrecht qui ouvriront d'ici deux ans des réseaux totalement nouveaux. Aux U.S.A., San Diego a sa première ligne de métro léger depuis juillet 1981, Portland et Buffalo suivront d'ici deux à cinq ans, avec derrière, une bonne dizaine de projets qui tous risquent de souffrir de l'attitude très défavorable aux transports publics de l'Administration Reagan. Au Canada, Edmonton et Calgary viennent d'entrer en service, respectivement en 1979 et 1981.

Dans les pays du tiers-monde, le marché potentiel est large. Nombreuses sont les villes où les besoins de transport sont considérables sans pour autant justifier la construction d'un métro classique, qui paraîtrait dans bien des cas un luxe. Tunis et Manille, qui ont engagé la construction de métros légers, seront en tête d'une liste de villes qui promet d'être longue. Dans la concurrence engagée, l'industrie française disposera de la « vitrine » de Nantes pour montrer son savoir-faire, même si pour l'exportation il est exigé des caractéristiques différentes de celles du tramway standard français, qui devra faire ses premiers tours de roues à Nantes en 1983.

Ainsi, le tramway ayant fait peau neuve jusqu'à changer de nom, sera-t-il en cette fin de siècle une belle carte que pourront jouer les villes désireuses de développer efficacement leurs transports publics et l'industrie ferroviaire soucieuse d'offrir une gamme complète de produits. Il y a donc lieu de souhaiter que cette renaissance soit, comme tout le laisse à penser, une éclatante réussite.

(12) Quand le courage manque pour créer un site protégé continu, la tentation du trolleybus est forte (exemple de Nancy). Au lieu de créer un système de transport à haute capacité, à haute productivité et intrinsèquement fiable, le risque devient grand de s'engager dans un engrenage de compromis, de dégradation et de renoncement au site protégé aux endroits où il serait le plus utile, risque difficilement évitable avec un système routier, au demeurant choisi précisément pour cela... On a toutes chances d'aboutir en fin de compte à une électrification de lignes d'autobus bénéficiant de priorités discontinues, sinon ponctuelles. La limite d'efficacité de ces mesures est connue, ainsi que leur caractère précaire et révoquant, et leur vulnérabilité à l'indiscipline des automobilistes. Un système ainsi conçu ne peut pas changer significativement le niveau de fréquentation du transport public, donc servir d'instrument à une nouvelle politique de déplacements urbains. Adapté à des objectifs plus limités, et malgré ses indéniables qualités, le trolleybus n'apparaît pas comme un véritable concurrent du métro léger.





— Matériel tout électrique, à l'exception de l'air comprimé nécessaire pour l'éjection du sable et pour le fonctionnement des graisseurs de boudins.

— Freinage par récupération, basculement automatique sur le freinage rhéostatique en cas de non consommation en ligne de courant récupéré ; freins à disques sur tous les essieux à commande électrique ; freins électromagnétiques sur rails alimentés par la batterie.

— Matériel muni de dispositifs électroniques permettant d'influencer le fonctionnement des feux de carrefours et permettant le repérage automatique de sa position par un poste de commande centralisé.

La voiture offre une capacité de 168 places, dont 60 assises et 108 debout, ces dernières calculées en norme « confort » (4 voyageurs debout par mètre carré). Elle pourra circuler en unités multiples après montage ultérieur

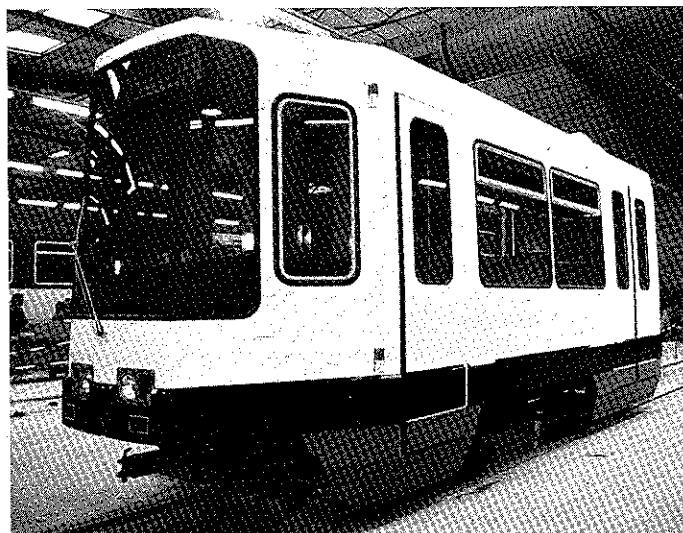
d'un attelage automatique. Sa vitesse maximale sera, dans le cas de Nantes, de 70 km/h (plusieurs rapports de ponts étant disponibles), avec une accélération en charge de l'ordre de 1 m/s<sup>2</sup> jusque vers 40 km/h. Avec 15 kW installés par tonne de tare, ce devrait être un matériel particulièrement brillant et cette réserve de puissance devrait également procurer la tranquillité souhaitée côté entretien des moteurs de traction.

Dans une première étude concrétisée par une maquette d'Heuliez, l'esthétique était très fuyante avec une cabine de conduite « en anse de panier ». Les études ont montré par la suite que l'aménagement rationnel du poste de conduite était peu compatible avec ce parti esthétique et, par ailleurs, les Services de la Ville de Nantes souhaitaient donner à ce matériel un aspect plus urbain et écarter l'image un peu trop futuriste. On est donc, fort heureusement à notre avis, revenu à une esthétique

plus simple et plus anguleuse, qui garantit contre une obsolescence rapide, et le matériel nantais aura une nette ressemblance avec le « Tram 2000 » de Zurich et le Tatra « T5 » de Budapest, deux belles références à vrai dire. . .

La sortie de la rame tête de la série des 20 premières nécessitées par la ligne 1 de Nantes aura lieu, selon les prévisions actuelles, à fin 1983, pour une mise en service commerciale à l'automne 1984. Ce matériel pourra convenir à tous les réseaux français actuellement à l'étude.

Faut-il dire, en guise de conclusion, que tous ceux qui ont participé à son élaboration souhaitent que ce soit un grand succès pour l'industrie française et que ce succès se concrétise par la livraison, aussi bien sur le marché intérieur qu'à l'exportation, de nombreuses motrices et rames, sœurs ou cousines de celles de Nantes.



Maquette à échelle 1 de l'extrémité du tramway standard français (mai 1982) tel qu'il apparaîtra à l'automne 1983.  
Document SEMITAN.

**COUVERTURE :** Automotrice n° 27 mise en service en 1981 sur la ligne à desserte cadencée de Zurich-Stadelhofen à Esslingen du Forchbahn.  
(J.M. Frybourg).

Au terme de cette étude, l'auteur Patrice Malterre, tient à témoigner sa gratitude aux personnes dont les noms figurent sous les photos, pour les documents de premier ordre qu'elles lui ont amicalement communiqués.

### Réseaux de métro léger actuellement en construction et année d'ouverture prévue

Edmonton (deuxième ligne 1986) - Calgary (deuxième ligne 1986) - San Diego (deuxième ligne 1987) - Utrecht (1983) - Gènes (1984) - Nantes (1984) - Tunis (1984) - Manille (1984) - Buffalo (1984) - Portland (1985) - Sacramento (1986) - San Jose (1986) -

### Réseaux de métro léger dont la création a fait l'objet d'une décision de principe favorable

Grenoble - Strasbourg - Toulouse - Curitiba - Kuala-Lumpur - Denver - Dallas - Detroit - El Paso - Kansas-City - Los Angeles/Long Beach - Louisville - Minneapolis-St-Paul - New York City (42<sup>e</sup> rue) - Orange Country - Rochester - St-Louis - Washington DC - Rabat - Casablanca - Valencia (Venezuela).

### Réseaux de tramways présentant les signes de conversion en métro léger (longueur de voies en site propre dépassant 50 % total, franchissement du centre en tunnel ou en zone piétonne, etc.)

Lille - Marseille - St-Etienne - Amsterdam - Rotterdam - La Haye - Anvers - Bruxelles - Charleroi - Turin - Zurich - Bale - Genève (Neuchâtel) - Göteborg - Bielefeld - Bochum-Gelsenkirchen - Bonn - Brême - Brunswick - Cologne - Duisburg - Düsseldorf - Dortmund - Francfort - Fribourg en B - Hanovre - Essen - Kassel - Karlsruhe - Ludwigshafen - Mannheim - Stuttgart - Budapest - Linz - Graz - Philadelphie - Pittsburgh - Boston - San Francisco - Fort Worth - Newark - Cleveland.

### Extraits des n°s 350 et 351

DE LA REVUE DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DES AMIS DES « CHEMINS DE FER »

AFAC - Gare de l'Est - Place de Strasbourg - F 75010 - PARIS

Tous droits de reproduction même partielle réservés.

Prix : 40 Francs.