

ÉVOLUTION RÉCENTE DES TRAMWAYS À PLANCHER BAS DANS LE MONDE

2083



Georges MULLER

Né en 1942, a suivi un cursus d'ingénieur intégralement consacré à la traction électrique dans les transports urbains ; il a notamment participé à la modernisation des Trolleybus de Lyon à la fin des années 70 et à la réalisation du nouveau Tramway de Grenoble.

Expert dans de nombreux projets de tramways et de trolleybus, en France comme à l'étranger, il est actuellement responsable des études techniques du Tramway à la Compagnie des Transports Strasbourgeois.

Introduction

Depuis l'article paru dans le numéro d'avril 1995 de la *Revue générale des chemins de fer*, un certain nombre d'évolutions récentes renforce la tendance à la généralisation, dans les pays industrialisés, de ce type de matériel dans les réseaux urbains et même sur des relations péri- ou interurbaines.

Nous vous proposons de faire le point, pour chaque catégorie de matériel, afin de mieux cerner les tendances et de tenter d'expliquer les choix que prônent certains exploitants. Seuls les matériels mis en service à partir de 1995 sont mentionnés dans cet article, mais les tableaux récapitulatifs sont complets (1990 - Février 1997).

Tramways conventionnels transformés par adjonction d'une section surbaissée

Le réseau de *Duisbourg* s'était rendu acquéreur (1986-92) de 40 rames dérivées de la gamme large-

ment répandue du modèle « *Stadt-bahn M/N* » (voie métrique ou normale) mais qui s'en différenciaient essentiellement par un gabarit de 2,20 m contre 2,30 m sur le modèle standard.

Sous la pression d'associations diverses et pour augmenter la capacité de ces rames à trois caisses de construction relativement récente, le réseau a décidé d'adjoindre à 30 rames une quatrième caisse pourvue d'une plate-forme surbaissée.

Plus intéressante est la transformation opérée à *Cottbus*. Les réseaux des nouveaux Länder exploitent, en très grand nombre, du matériel *TATRA*, construit à Prague sur la base de la technique de la motrice américaine P.C.C.

Ces matériels performants, mais très rustiques au niveau de la conception générale et des aménagements, n'ont généralement pas encore atteint leur limite d'amortissement et, à l'aide de subsides de l'État, ont subi récemment une cure de rajeunissement importante sur le plan de la chaîne de traction comme sur celui du confort.

Le réseau de *Cottbus* a imaginé de transformer 26 motrices articulées à

deux caisses sur deux bogies moteurs, type KT4D, en intercalant une remorque intermédiaire, à plancher surbaissé.

L'originalité de la caisse supplémentaire, longue de 7,65 m, construite par Schindler (CH), est de reposer sur deux bogies à un seul essieu (SIG/FIAT) qui s'orientent automatiquement en courbe, suivant le rayon, en fonction de l'orientation des caisses motrices.

Cette caisse est entièrement réalisée suivant un procédé nouveau faisant uniquement appel à des matériaux plastiques à base de résines et de polyester reposant sur un châssis-cadre en acier. La structure de la caisse est « tissée » sur une machine tournante spéciale et, après séchage et durcissement, fenêtres et portes sont découpées par un robot dans la masse. La remorque, aménagée, ne pèse que huit tonnes, la tare totale de la rame passant de 23 tonnes à 31 tonnes.

La légèreté de la nouvelle caisse n'a pratiquement pas altéré les performances de la rame et le remplacement de l'accélérateur P.C.C.-Westinghouse par un hacheur a procuré une économie d'énergie atteignant 35 %.

Il est certain que d'autres réseaux suivront cet exemple avec des caisses intermédiaires en polyester :

- **Brandenburg** : une rame Tatra KT4D sera transformée comme à Cottbus, en attendant de décider la transformation de 13 autres rames.

- **Mühlheim, Bochum-Gelsenkirchen** : transformation des rames Stadtbahn M 6 à deux caisses (Mülheim : 18, Bochum : 55) en rames à trois caisses.

- **Bâle** : transformation de 28 rames articulées à deux caisses (« Concombres » de 1991) en rames à trois caisses ainsi que le solde des 25 rames semblables du réseau suburbain B.L.T. (Voir tableau 1 ci-dessous.)

Tramways nouveaux à plancher surbaissé partiel

Le réseau de *Karlsruhe* n'en finit pas d'innover. Ses dessertes avec du matériel tramway des voies ferrées existantes étant en pleine expansion, ce réseau a amélioré l'accessibilité de ses 21 nouvelles rames bicourant 750 V/15 kV 16 2/3 Hz, en abaissant le plancher sur les caisses d'extrémité, entre le bogie moteur et le bogie porteur, à un niveau compatible avec la hauteur des quais de la D.B. Cette mesure est destinée, avant tout, à réduire les temps de stationnement aux points d'arrêt.

Dans la même philosophie mais avec une approche plus urbaine, le Tramway de l'Année 1997 sera celui de *Sarrebruck* dont 15 rames sont en construction.

Egalement bicourant comme à *Karlsruhe*, prévu même pour être tricourant pour circuler sous 25 kV 50 Hz en Lorraine, le matériel de *Sarrebruck* est aussi urbain et se rapproche de son confrère de *Sheffield*, et les sections à plancher surbaissé, qui sont pourvues de portes, sont à la cote de 400 mm.

Enfin, appels d'offres européens obligent, les Tramways d'Oslo ont confié à Ansaldo-Firema la construction de leurs 17 rames à plancher bas partiel. (Voir tableau 2 ci-dessous.)

Tableau 1. - Tramways conventionnels transformés à plancher surbaissé partiel.

Réseau	Voie (mm)	Année	N	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Places ass. deb (4 v/m ²)	Tare (t)	Puissance continue (kW)
							bas (mm)	haut (mm)			
► BALE BLT	1 000	1987	41	Schindler/Siemens	25 500	2 200	330	860	60/100	30,5	2 × 150
► MANNHEIM	1 000	1991	23	Düwag/ADtranz	25 700	2 200	350	880	55/100	27,2	2 × 120
► NUREMBERG	1 435	1992	12	MAN/Siemens	26 120	2 300	295	880	52/196	33,2	2 × 120
► OSTENDE	1 000	1994	16	B.N./ACEC	29 360	2 500	350	870	70/120	42,6	2 × 118
► NANTES	1 435	1992-93	28	GEC-Alsthom	39 150	2 300	350	850	74/190	51,6	2 × 275
► COTTBUS	1 000	1996	1 + 25	Schindler - Tatra	26 770	2 200	350	900	52/95	31	4 × 55
► BRANDENBURG	1 000	1997	1 + 13	Schindler - Tatra	26 770	2 200	350	900	52/95	31	4 × 55
► DUISBURG	1 435	1996	45	Düwag/ADtranz	33 010	2 200	350	780	62/176	36	2 × 185
► MÜLHEIM	1 000	1997	1 + 17	Schindler - Düwag	28 340	2 300	350	880	58/110	33	2 × 150
► BOCHUM	1 000	1997	1 + 54	Schindler - Düwag	28 340	2 000	350	880	58/110	33	2 × 150
► BALE BVB	1 000	1998	28	Schindler	28 260	2 200	325	860	57/106	32	2 × 150
► BALE BLT	1 000	1998	15	Schindler	28 260	2 200	325	860	57/106	32	2 × 150

Tableau 2. - Tramways conventionnels neufs à plancher surbaissé partiel.

Réseau	Voie (mm)	Année	N	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Places ass. deb (4 v/m ²)	Tare (t)	Puissance continue (kW)
							bas (mm)	haut (mm)			
► AMSTERDAM	1 435	1989	45	B.N. Holec	26 050	2 350	280	870	64/94	38	8 × 40
► WÜRZBURG	1 000	1990	14	LHB - Siemens	32 600	2 400	310	910	76/132	42	4 × 160
► FREIBURG	1 000	1990	11	Düwag - ADtranz	32 850	2 300	270	910	82/121	39	4 × 150
► NANTES	1 435	1993-94	18	GEC-Alsthom	39 150	2 300	350	850	74/190	51,6	2 × 275
► SHEFFIELD	1 435	1994	25	Düwag - Siemens	34 750	2 650	480	880	90/160	45	4 × 250
► FREIBURG	1 000	1994	26	Düwag - ADtranz	33 090	2 300	330	560	84/114	38	8 × 80
► KARLSRUHE	1 435	1997	21	Düwag - ADtranz	36 500	2 650	630	880	94/		4 × 125
► OSLO	1 435	1998	17 + 15	FIREMA-Ansaldo	33 000	2 600	400	620	96/		8 × 105
► SAARBRÜCKEN	1 435	1997	15	Bombardier - Kiepe-Elin	36 010	2 650	400	800	108/132	54	8 × 120

Tramways équipés de bogies porteurs à petites roues

En France, ce sont les Tramways de Saint-Étienne qui ont choisi cette technique : une deuxième tranche de 15 rames a été commandée au Groupement VEVEY - GEC-Alsthom, avec bogies moteurs Düwag et bogie porteur VEVEY à petites roues.

Le réseau de Darmstadt a en construction 30 rames dérivées du type en service à Magdeburg (1994).

Le même réseau de Darmstadt, qui dispose de boucles de retournement, a augmenté la capacité de ses rames par l'adjonction d'une remorque à plancher bas intégral (30 unités livrées) montées sur des bogies à petites roues.

Les Tramways de Düsseldorf, enfin, ont commandé récemment à LHB 59 remorques du type Darmstadt. (Voir tableau 3 ci-dessous.)

Tramways à plancher bas partiel type Grenoble et dérivés

Sur le schéma bien connu du type « Grenoble », les matériels suivants ont été mis en service :

• **Karlsruhe** : 20 rames Düwag-ADtranz (1995), incontestablement les plus réussies dans leur genre.

• **Cologne** : une première tranche de 40 rames (80 en option), Bombardier - Kiepe - GEC-Alsthom (1995).

• **Lisbonne** : une première tranche de 10 rames (SOREFAME - Siemens), pratiquement identiques à celles de Valencia (1994).

• **Portland** : première ville du continent américain à adopter le plancher bas partiel, ce réseau reçoit actuellement 39 rames de ce type fournies par Düwag-Siemens, montées aux États-Unis, destinées à circuler accouplées avec les rames articulées traditionnelles livrées par Bombardier en 1985.

• **Boston** : cet autre réseau américain a commandé à BRED A 100 rames à plancher bas partiel destinées à remplacer une partie des rames Boeing - Vertol de 1977 dont la mise au point n'a jamais pu être satisfaisante.

Une variante de ce type de matériel a été développée par Düwag pour les réseaux rhénans de Mannheim (64) et de Ludwigshafen (19).

Les caisses d'extrémité ont été séparées en deux parties : un compartiment principal à plancher bas qui s'articule entre le module central, reposant sur un bogie porteur et un module de tête qui repose sur un bogie moteur et qui abrite la cabine de conduite et un sas d'entrée.

Il en résulte une disposition modulaire qui a été exploitée pour cinq rames de la ligne interurbaine Ludwigshafen-Bad Dürkheim : par l'adjonction d'un compartiment et

d'un module d'intercirculation supplémentaires, on obtient un train à sept modules long de 40,50 m offrant 240 places : ces rames détiennent, provisoirement, le ruban bleu du tramway le plus long du monde.

Tout récemment le réseau de Karlsruhe (VBK) a commandé une nouvelle série de 10 rames à plancher bas partiel, longues de 40 m, offrant une capacité de 400 places (4 v/m²), dérivées de la série de 1995, qui sont le champion dans cette catégorie de matériel.

Sur ce modèle, les usines DWA de Bautzen ont développé un modèle particulièrement réussi pour les Tramways de Dresde, en version unidirectionnelle ou réversible.

DWA a remporté récemment une commande d'un matériel pour l'exploitant belge De Lijn, soit 35 rames unidirectionnelles pour Anvers et 10 rames réversibles pour Gand.

Dans cette catégorie de matériel, il faut encore citer les projets Citadis de la firme GEC-Alsthom :

- Type 301 : modèle articulé, à trois caisses, à plancher bas partiel (75 %) qui constitue un développement de la version « Grenoble » avec des hauteurs de plancher de 350 mm en zone surbaissée et de 580 mm au-dessus des deux bogies moteurs.

- Type 302 : modèle articulé, à cinq caisses, à plancher bas intégral (350 mm).

- Type 202 : même modèle que le 302 mais à trois caisses seulement.

Tableau 3. - Tramways équipés de bogies porteurs à petites roues.

RÉSEAU	VOIE (mm)	Année	N	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Places assises (v/m ²)	Tarif (f)	Pulsance continue (kW)
							Bas (mm)	Hauteur (mm)			
► GENEVE	1 000	1984	38	Vevey - ADtranz	21 000	2 300	480	870	48/70	27	2 x 150
► GENEVE	1 000	1995	18	Vevey - ADtranz	30 000	2 300	480	870	68/110	35	2 x 150
► BERNE	1 000	1990	12	Vevey - ADtranz	31 140	2 300	350	710	68/114	34	2 x 150
► ST-ÉTIENNE	1 000	1991-97	30	Vevey - Alsthom	23 240	2 150	350	710	43/97	28	2 x 140
► LEIPZIG	1 450	1995	55 + 70	Bautzen - ADtranz	28 100	2 200	350	560	76/90	32	4 x 100
► DARMSTADT	1 000	1998	20	LHB - ADtranz	27 960	2 400	350	587	81/	31	4 x 100
► DARMSTADT	1 000	1996	30	LHB	14 720	2 400	350	350	48/44	12	remorques
► DUSSELDORF	1 435	1998	59	LHB	14 600	2 400	350	350	50/40	12	remorques
► MAGDEBURG	1 435	1994	120	LHB/DWA/ADtranz	29 410	2 300	350	590	71/96	33	4 x 100

La motorisation, par moteurs triphasés asynchrones, appartient à la famille ONIX expérimentée sur la dernière série de Grenoble.

type	301	302	303
Nombre de caisses	3	5	3
Longueur (m)	29	31,30	21,90

Cette nouvelle famille de matériels, dont la largeur peut être construite de 2,20 m à 2,65 m, à l'esthétique particulièrement réussie, est destinée aussi bien aux réseaux français qu'à l'exportation. (Voir tableau 4 ci-dessous.)

Tramways à plancher bas avec trains de roues porteuses orientables système EEF

Cette famille de matériel, étudiée par Düwag, n'est présente qu'en

Allemagne dans 11 exploitations ainsi qu'à Vienne sur une ligne mixte tramway-méto. (Voir tableau 5 ci-après.)

Tramways à plancher bas intégral type BREME

C'est le modèle actuellement le plus répandu dans le monde. Sa référence à la grande ville hanséatique rappelle que ce sont les Tramways de Brême qui sont à l'origine de sa conception. Il existe actuellement en trois versions :

- version à deux caisses : Kumamoto, 26 rames
- version à trois caisses : dix réseaux, 468 rames
- version à quatre caisses : trois réseaux, 151 rames.

Pour les constructions en cours pour Nuremberg et Munich, les

caisses et les bouts d'extrémité ont été redessinés.

Ce matériel, dont chaque caisse repose sur un bogie à adhérence partielle, a connu une mise au point assez longue mais il est apprécié par ses exploitants en raison de sa relative simplicité.

Initialement produit par les usines MAN de Nuremberg, il a été commercialisé, par la suite par AEG avant que la partie Traction de cette branche ne soit fusionnée avec celle d'ABB pour la création du géant ADtranz. (Voir tableau 6 ci-après.)

Autres tramways à plancher bas intégral

Si l'on excepte les 20 rames de Francfort/Main (1993) et les 51 rames de Bruxelles (1993), restées à ce jour sans descendance, on retrouve sept familles de matériels, tous modulaires.

Tableau 4. - Tramways à plancher bas partiel type Grenoble et dérivés

Réseau	Vitesse (km/h)	Année	N°	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Plancher des deux bouts (mm)	Largeur (m)	Descendance continue (N°)
							Partie avant (mm)	Partie arrière (mm)			
► GRENOBLE	1 435	1987-96	47	GEC - Alsthom	29 400	2 300	350	860	58/116	44	2 x 275
► R.A.T.P.	1 435	1992-96	84	GEC - Alsthom	29 400	2 300	350	860	58/116	44	2 x 275
► ROUEN	1 435	1994	28	GEC - Alsthom	29 400	2 300	350	860	58/117	45	3 x 275
► ROME	1 445	1991	33	Socimi - AEG	21 100	2 300	350	835	34/104	30	4 x 100
► TURIN	1 435	1989	54	Fiat - Ansaldo	22 200	2 300	350	870	49/98	30	2 x 300
► BRNO	1 435	1995	6	ČKD - Tatra	26 300	2 440	350	895	44/106	33	4 x 95
► VALENCIA	1 000	1994	21	CAF - Siemens	23 800	2 400	350	560	65/96	31	4 x 100
► KARLSRUHE	1 435	1995	20	Düwag - ADtranz	29 175	2 650	407/340	610	90/108	34	4 x 125
► COLOGNE	1 435	1995	120	Bombardier - Kiepe	28 400	2 650	400	580	70/110	34	4 x 120
► LISBONNE	900	1996	10	Sorefame - Siemens	24 000	2 400	350	700	65/90	32	4 x 100
► PORTLAND	1 435	1996	39	Düwag - Siemens	27 200	2 655	350	980	70/120	44	4 x 140
► BOSTON	1 435	1998	100	Breda	21 946	2 642	355	889		40	
► MANNHEIM	1 000	1995	64	Düwag - ADtranz	29 200	2 400	185/350	600	85/120	32	4 x 95
► LUDWIGSHAFEN	1 000	1994	14	Düwag - ADtranz	29 200	2 400	185/350	600	85/120	32	4 x 95
► LUDWIGSHAFEN	1 000	1995	5	Düwag - ADtranz	40 500	2 400	185/350	600	98/142	42	4 x 95
► DRESDE	1 450	1995	40 + 43	DWA - Siemens	29 200	2 300	350	600	88/110	32	4 x 95
► ANVERS	1 000	1998	35	DWA-Siemens-ADtranz	29 200	2 300	350	600		32	4 x 95
► GAND	1 000	1998	10	DWA-Siemens-ADtranz	29 200	2 300	350	600		32	4 x 95
► ROME	1 445	1998	30	FIAT	30 800	2 300	350	850	54/136	38	4 x 178
► BIRMINGHAM	1 435	1998	15	Pirema-Ansaldo	24 000	2 650	350	850	58/160	34	2 x 210
► KARLSRUHE	1 435	1999	10	Düwag - ADtranz	39 179	2 650	407/340	610	124/268	48	4 x 125

Tableau 5. – Matériels à trains de roues porteuses orientables, système EEF.

RÉSEAU	VOIE (mm)	Année	N	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Places ass./deb. (4 x 6 m ²)	Largeur (m)	Puissance continue (kW)
							bas (mm)	haut (mm)			
► KASSEL	1 435	1990	25	Düwag - Siemens	28 700	2 300	350	700	80/100	30	2 x 180
► ROSTOCK	1 435	1994	40	Bautzen-ADtranz	30 400	2 300	350	560	81/150	31	4 x 95
► HALLE	1 000	1993	122	Düwag - Siemens	28 530	2 300	300/350	560	68/120	30	4 x 105
► BONN	1 435	1994	24	Düwag - Siemens	28 570	2 300	350	560	70/118	31	4 x 105
► MULHEIM	1 000	1995	4	Düwag - Siemens	28 620	2 300	350	560	70/118	31	4 x 105
► OBERHAUSEN	1 000	1996	6	Düwag - Siemens	28 620	2 300	350	560	70/118	31	4 x 105
► BOCHUM	1 000	1994	42	Düwag - Siemens	28 620	2 300	350	560	70/118	31	4 x 105
► ERFURT	1 000	1996	14	Düwag - Siemens	28 620	2 300	350	560	70/118	31	4 x 105
► DUSSELDORF	1 435	1996	110	Düwag - Siemens	27 500	2 400	350	560	70/118	31	4 x 105
► HEIDELBERG	1 000	1996	12	Düwag - S-ADtranz	28 930	2 300	350	560	74/97	31	4 x 95
► VIENNE	1 435	1993	68	Bombardier - Kiepe	26 800	2 650	440	530	58/136	35	4 x 100
► BRANDEBURG	1 000	1995	4	Düwag - Siemens	28 630	2 300	350	560	74/100	31	4 x 105

Tableau 6. – Tramways à plancher bas intégral type « BREME ».

RÉSEAU	VOIE (mm)	Année	N	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Places ass./deb. (4 x 6 m ²)	Largeur (m)	Puissance continue (kW)
							bas (mm)	haut (mm)			
► KUMAMOTO	1 067	1997	1 + 25	ADtranz	18 000	2 300	300	360	?	?	2 x 85
► AUGSBURG	1 000	1995	11	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► BERLIN	1 435	1994-99	200	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► BREME	1 435	1990	1	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► BRUNSWICK	1 100	1996	38	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► FRANKFURT/Od.	1 000	1994	13	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► IENA	1 000	1995	19 + 20	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► MAYENCE	1 000	1996-97	22	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► MUNICH	1 435	1994-97	70 + 27	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► NUREMBERG	1 435	1995	14	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► ZWICKAU	1 000	1993	12	ADtranz	26 540	2 300	300	360	62/110	29	3 x 85
► BREME	1 435	1994-96	108	ADtranz	35 420	2 300	300	350	83/140	38	4 x 85
► NUREMBERG	1 435	1997	26	ADtranz	36 580	2 300	300	360	82/140	38	4 x 85
► MUNICH	1 435	1997	17	ADtranz	36 580	2 300	300	360	82/140	38	4 x 85

L'Eurotram

En tête du palmarès, les 26 rames construites pour la C.T.S. de Strasbourg considérées unanimement, dans la profession, comme les « Rolls des Tramways ».

Pour ses extensions en cours, la C.T.S. a commandé en 1996 à ADtranz :

- 16 rames à sept modules, plus cinq en option, longues de 33 m,

- 10 rames à neuf modules, longues de 43 m, qui seront les plus grands tramways circulant au monde.

Le montage, l'habillage et l'assemblage seront effectués par l'usine alsacienne LOHR de Duppigheim.

Une série de 20 rames unidirectionnelles, plus 20 autres rames en option, a été commandée en 1996 par l'A.T.M. de Milan ; ces rames se distinguent des rames strasbourgeoises par une construction simplifiée de la caisse, des bouts d'extrémité et par un nombre plus réduit de portes afin d'augmenter le nombre de places assises.

Le Variotram

C'est une variante du modèle précédent, étudiée par ADtranz pour les

marchés allemands, où il a été retenu par Chemnitz, Duisburg et le réseau interurbain OEG qui relie par deux itinéraires différents Mannheim et Heidelberg.

Le Variotram se distingue morphologiquement de l'Eurotram par un allongement des modules d'extrémité pour permettre l'insertion d'une plateforme d'accès pour la perception par le conducteur.

Une variante a été conçue pour l'OEG dont les services techniques ont exigé la fourniture de bogies moteurs de conception classique à deux essieux conduisant à une légère



Fig. 1. – Maquette Variotram de Duisburg, prototype livré en 1997.

surélévation du plancher des modules d'extrémité.

Le Variotram standard d'ADtranz a également été retenu par Helsinki (40 rames) et, surtout, pour le nouveau Tramway de Sydney où il sera construit localement sous licence.

Le modèle « Würzburg »

Il s'agit d'une variante du Variotram, à adhérence totale, construite par LHB en 1996 pour le réseau à fortes rampes de Würzburg, avec un équipement Siemens et des bogies à moteurs-roues de conception ADtranz.

L'ULF

Le plus remarquable, par sa conception originale, conçu pour les besoins particuliers du réseau de Vienne.

Une rame, unidirectionnelle, est composée de courts modules mesurant environ cinq mètres de long, articulés entre eux. Chaque articulation est formée d'un portique reposant sur deux roues, motorisées ou non, à orientation radiale contrôlée. Les roues motrices sont, chacune, entraînées par un moteur de traction asynchrone de 60 kW suspendu verticalement, dans le portique, sur le réducteur et la roue motrice.

Dans cette conception, le plancher est à la cote de 205 mm et s'abaisse même à 180 mm aux seuils de portes, ce qui rend la

rame accessible de plain-pied à partir des îlots existants ou même depuis la chaussée, la rame étant dotée d'un système d'agenouillement aux arrêts.

Après avoir testé un prototype de chaque modèle, le réseau viennois a commandé :

- 100 rames ULF 197-4, constituées de cinq modules, reposant sur quatre paires de roues orientables ; longueur 24,20 m, capacité 144 places (4 v/m²),
- 50 rames ULF 197-6, constituées de sept modules sur six paires de roues orientables : longueur 35,50 m, capacité 220 places.

Le Cobra

Les réseaux de Bâle et Zürich vont devoir procéder, dans un proche avenir, au remplacement des célèbres rames « Brochet » à bogies, de configuration M + R, construites sur un modèle unifié de 1939 à 1968, et qui ont introduit la notion du tramway moderne en Europe.

En raison des caractéristiques particulières de ces réseaux à voie métrique, au profil très tourmenté, le constructeur bâlois Schindler étudie, depuis quelques années, une nouvelle génération de tramways articulés, de conception modulaire.

Ce matériel, à adhérence partielle ou totale, est constitué d'une alternance de caisses reposant sur des

« bogies » à deux roues orientables, système SIG-FLAT, et de modules intermédiaires suspendus. La construction de la caisse fait appel au nouveau procédé de construction en matériaux plastiques développé par Schindler et décrit sommairement plus haut. Chaque caisse motrice est dotée de deux moteurs de traction asynchrones de 80 kW, disposés longitudinalement sur le côté, sous des sièges, avec transmission par cardan sur les deux roues de la même file de rail.

La Ville de Zürich vient de commander au Groupement Schindler - SIG - FIAT - ADtranz une première série de six rames unidirectionnelles, plus 11 en option, avec les caractéristiques générales suivantes :

- longueur de la rame, hors tout : 35,72 m
- largeur de la caisse : 2,40 m
- tare : 36 t
- places assises/debout : 100/142
- puissance continue : 5 × 80 kW.

Dans sa version, actuellement en construction, avec sept paires de portes doubles sur l'une des faces latérales, le COBRA de Zürich serait l'un des véhicules les plus légers avec un poids à vide inférieur à 425 kg/m².

L'Urbos

Il s'agit d'un matériel modulaire, à plancher bas intégral développé par le groupement helvético - hispano - néerlandais VEVEY - CAF - HOLEC.

Dans l'état actuel du projet, le modèle URBOS de base se compose de trois caisses reposant sur quatre bogies, à très faible empattement (1 m) et dotés de roues de faible diamètre (440 mm) motorisées ou non.

Le nouveau Tramway de Leeds a, en principe, retenu ce type de matériel pour sa future exploitation.

Le Combino

C'est la dernière réponse de Düwag - Siemens en matière de tramways à



(Photo ADtranz)

Fig. 2. – Berlin, l'une des innombrables variantes du modèle ADtranz type GT6.

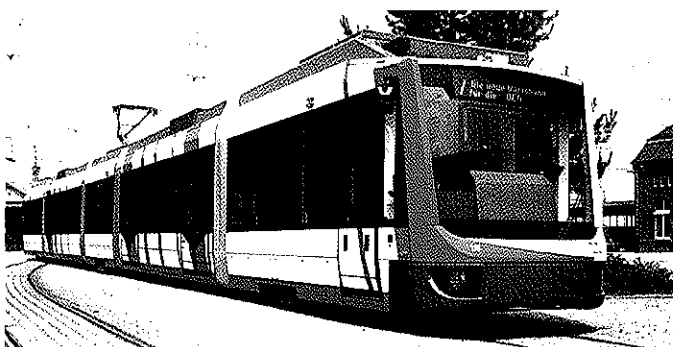
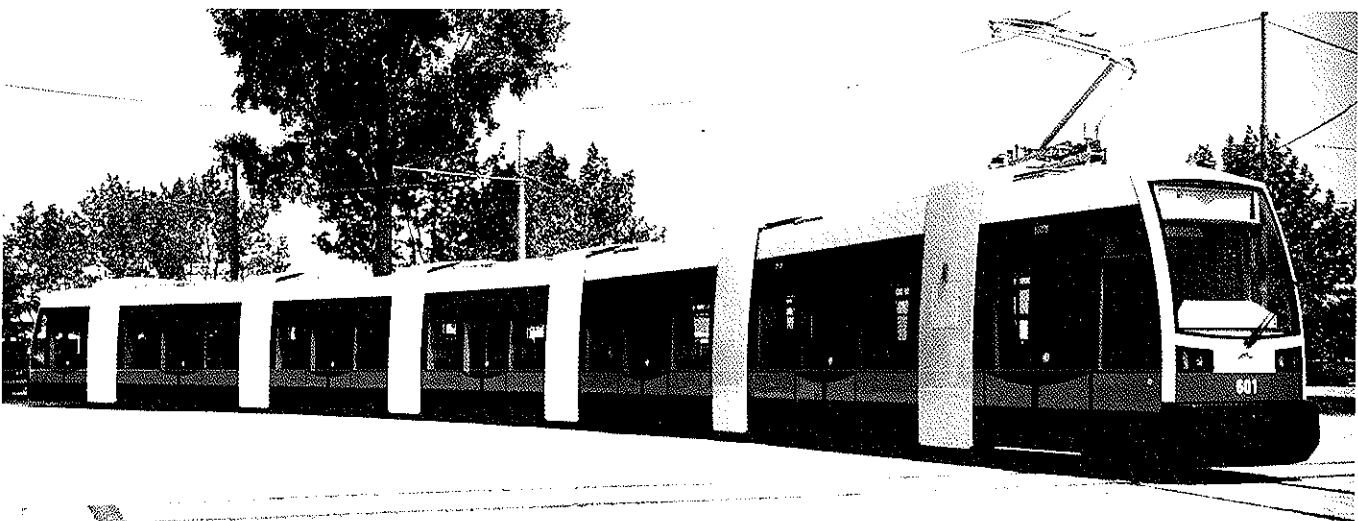


Fig. 3. – Une ligne très dépouillée, le Variotram de l'OEFG, le train-tram.



(Photo D.V.B. Fröhlich)

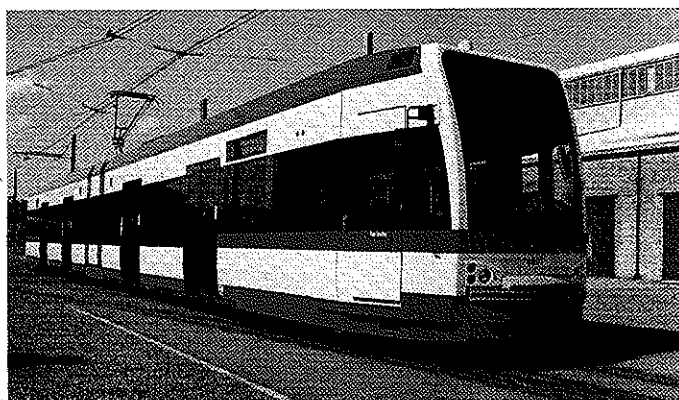
Fig. 4. – Dresde, les nouveaux tramways DWA (1996) qui ont servi de modèle pour Gand et Anvers.



(Photo S.G.P.)

Fig. 5. – Vienne (1996) matériel ULF construit par SGP, le plancher le plus bas du monde.

(Photo Bombardier Eurorail)



▲ Fig. 6. – Matériel de Cologne Bombardier-Kiepe, GEC Alsthom (1996).



(Photo W. Hugo)

Fig. 7. – Würzburg Rame articulée LHB en 1996. ►

plancher bas intégral et de conception modulaire dans le but de rationaliser la construction et maîtriser les coûts de construction en utilisant un nombre réduit d'éléments pour réaliser une grande variété de modèles (longueur, largeur, etc.).

Les structures de caisse sont en profilés d'aluminium assemblés par boulonnage suivant le système *Alagrip* et la cabine de conduite est en polyester armé, permettant de personnaliser le véhicule, et la rame peut s'inscrire dans des courbes de 15 m de rayon.

En alternant les différents modules, il est possible de faire varier la longueur

de 19 m à 34 m suivant les besoins du client. Les extrémités de caisse peuvent reposer sur un bogie ou sur un train articulé à deux roues orientables système *EEF*, suivant le modèle choisi.

Le bogie moteur se compose de deux blocs maintenus parallèlement par un châssis surbaissé. Chaque bloc comprend un moteur de traction longitudinal, hexapolaire, asynchrone de 100 kW et la transmission aux voies d'une même file de rails est assurée par un réducteur à engrenages et un accouplement par arbre creux. Chaque groupe de deux moteurs est alimenté par un onduleur deux points IGBT.

Un prototype a été présenté en 1996 sur plusieurs réseaux allemands et autrichiens et la Ville de Potsdam a passé commande de 48 rames à livrer à partir de 1998. (Voir tableau 7 ci-après.)

Les constructeurs européens

□ ADtranz

Berlin, Zürich, le numéro un mondial du tramway à plancher bas intégral.

(Photo Siemens)

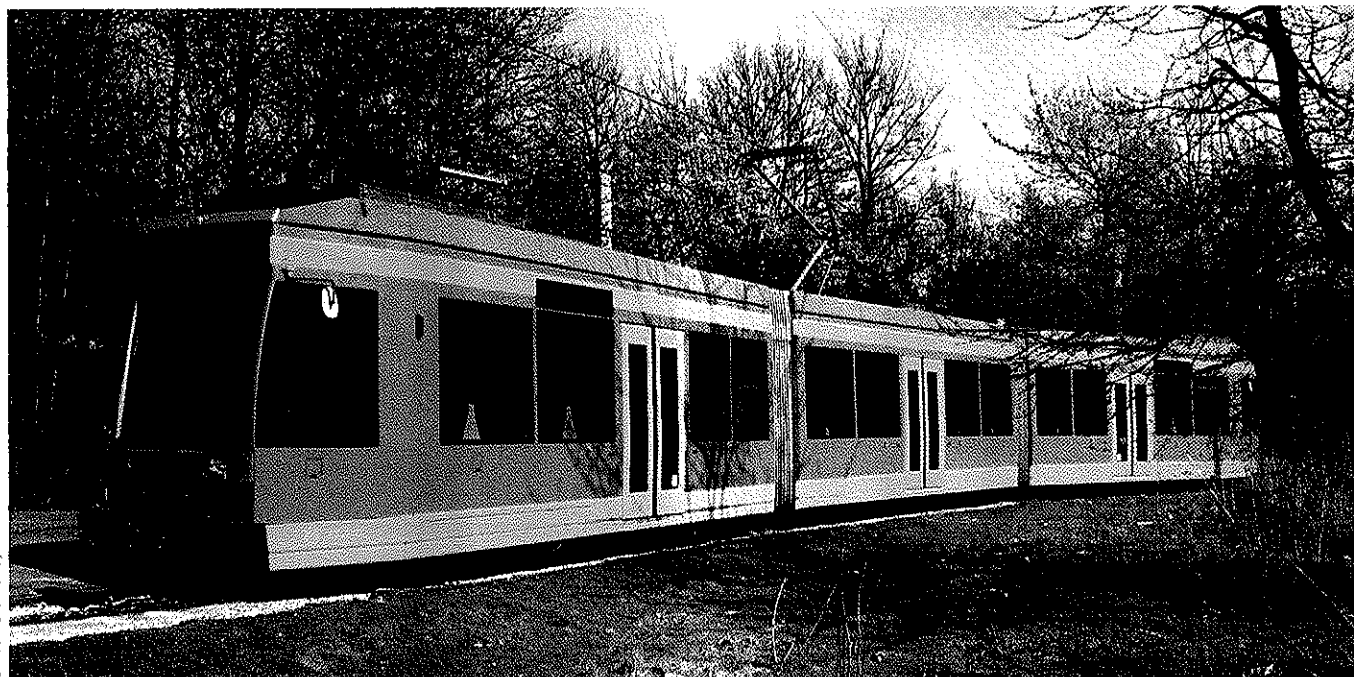


Fig. 8. – Oberhausen, le dernier des nouveaux réseaux de tramway (1996).

Tableau 7. - Tramways à plancher bas intégral divers.

RESEAU	VOIE (mm)	Année	N	Constructeurs	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Plancher		Places ass. / deb (4 cm ²)	Tara. (t)	Puissance continue (kW)
							bas (mm)	haut (mm)			
► FRANCFORT/M	1 435	1993-98	20 + 20	Düwag - Siemens	27 200	2 300	300	350	58/124	33,5	8 × 55
► BRUXELLES	1 435	1993	51	Bombardier - ACEC	22 810	2 300	350	350	32/90	34	8 × 45
► STRASBOURG*	1 435	1994-98	87 + 5	ADtranz	33 100	2 400	350	350	66/134	40,5	12 × 28
► MILAN*	1 445	1998-99	20 + 20	ADtranz	34 000	2 400	340	350	86/113	40	12 × 28
► STRASBOURG*	1 435	1998	10	ADtranz	43 000	2 400	350	350	92/178	51	16 × 28
► CHEMNITZ**	1 435	1994-98	1 + 50	ADtranz	31 400	2 650	290	650	78/140	37	8 × 45
► HELSINKI**	1 000	1998	20 + 20	ADtranz	24 000	2 300	290	350	57/81	30	12 × 45
► DUISBURG**	1 435	1997	1 + ..	ADtranz	33 780	2 300	290	350	48/113	36	8 × 45
► O.E.G.**	1 000	1996	6 + ..	ADtranz	32 200	2 500	350	560	90/105	38	4 × 95
► SYDNEY**	1 435	1997	21 + ..	ADtranz	28 900	2 650	290	350	60/105	36	8 × 45
► WÜRZBURG	1 000	1996	20	LHB - ABB - Siemens	28 810	2 400	300	350	82/125	39	12 × 45
► VIENNE ULF	1 435	1995	1 + 100	SGP - Siemens - Elin	24 210	2 400	180	205	42/102	24	6 × 60
► VIENNE ULF	1 435	1995	1 + 50	SGP - Siemens - Elin	35 500	2 400	180	205	66/154	33	8 × 60
► ZÜRICH	1 000	1999	6 + 11	Schindler-ADtranz	35 720	2 400	350	350	100/142	36	5 × 80
► POSTDAM***	1 435	1998	48	Düwag - Siemens	30 520	2 300	300	300	74/107	31	4 × 100

* = Eurotram ; ** = Variotram ; *** = Combino

□ Ansaldo

Naples, contrôle le mécanicien *FIREMA* et vient de s'allier à *BREDA* (Pistoia) : construit et équipe actuellement des trams pour Oslo, Birmingham et Manchester.

□ Babcock Rail

Coventry, travaille au développement d'un tramway économique à plancher bas (low-cost) pour Blackpool.

□ Bombardier Eurorail

Ce constructeur canadien contrôle : *ANF* (France), *Brugeoise & Nivelles* (Belgique), *Rotax* (Autriche) et *Bombardier Prorail* (GB).

□ Breda, Pistoia

a construit les matériels de Lille, Cleveland, San Francisco et Boston. Allié à *Ansaldo* depuis 1996.

□ CAF, Espagne

spécialiste dans la construction d'automotrices pour trams et métros.

□ CKD Tatra, Prague

c'est encore le plus grand constructeur de tramways du monde ; à la

recherche d'une alliance avec un « grand » européen.

□ DWA, Bautzen

spécialiste pour les rames régionales à deux niveaux, a réemporté les récents marchés de Dresde, Anvers et Gand ; vient de racheter *Vevey Technologies*.

□ Elin, Vienne

constructeur électricien traditionnel, équipe les nouveaux ULF de

Vienne et les équipements 15 kV des Tramways de Sarrebruck.

□ FIAT, Savigliano

a repris l'activité tramway (Rome) et contrôle le spécialiste suisse des bogies *S.I.G.*

□ FIREMA, Milan

c'est un groupement industriel important, contrôlé par *Ansaldo*, qui construit les tramways de Manchester et Birmingham.



Fig. 9. - Portland, TW plancher bas partiel.

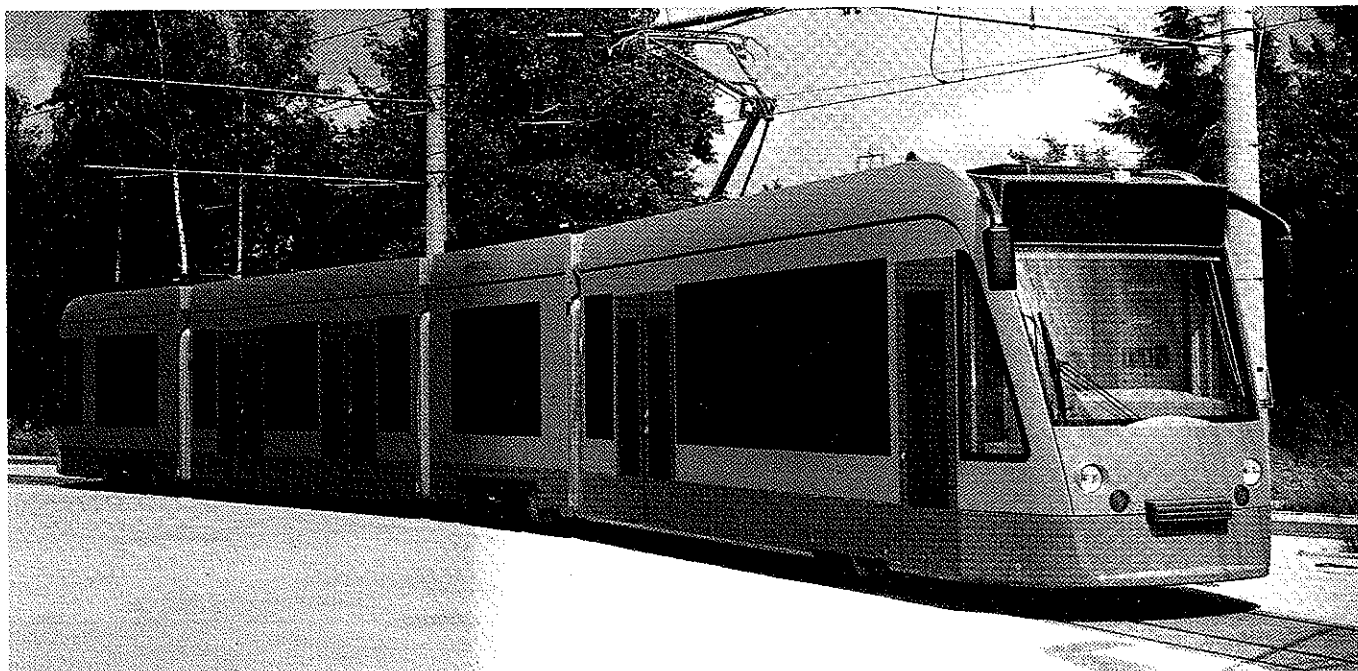


Fig. 10. - Siemens, prototype Combino.

□ **GANZ-HUNSLET**, Budapest

avec l'aide de *Ganz - Ansaldo*, livre de nouveaux trams en Hongrie.

□ **HOLEC**, Ridderkerk

électricien néerlandais spécialisé dans les métros et les tramways.

□ **KIEPE**, Düsseldorf :

cet électricien a su décrocher de nombreux marchés en raison de sa souplesse d'adaptation.

□ **KONSTAL**, Chorzow :

Le contrôle de ce grand constructeur polonais, qui a construit plus de 6 000 motrices pour le marché intérieur, a été repris par *GEC-Alsthom*.

□ **LHB**, Salzgitter

constructeur ferroviaire depuis 1839 et de tramways depuis 1880, est contrôlé depuis 1994 par *GEC-Alsthom*.

□ **MATRA TRANSPORT INTERNATIONAL**, Montrouge

Matra Transport et Siemens ont fondé cette nouvelle société en 1996, chacun possédant la moitié du capital.

Le tramway CITADIS de GEC-Alsthom

Le constructeur franco-britannique *GEC-Alsthom* s'est mis sur les rangs pour la production de tramways à plancher bas en proposant son projet *CITADIS*, dont une maquette grandeur nature a déjà été présentée en 1996.

Système modulaire élaboré à partir de toutes les solutions modernes connues et éprouvées, *CITADIS* se présente comme un jeu de construction dont les éléments visibles de carrosserie (panneaux, vitres, portes...) sont indépendants des éléments techniques (châssis, bogies moteur et porteurs, cheminement des câbles...). La longueur des rames peut varier de 22 à 60 m, par simple adjonction de modules (au moment du choix initial ou après mise en exploitation), et la largeur peut être choisie entre 2,20 et 2,65 m. Chaque option peut être retenue par l'utilisateur sans changer le principe de la série.

L'aménagement intérieur offre de multiples possibilités de dispositions, la climatisation est possible en option.

La chaîne de traction inclut les onduleurs ONIX et des moteurs asynchrones compacts et légers.

Parmi les versions proposées, le type TGA 301 à plancher mixte, à trois caisses sur trois bogies, long de 29 m, est retenu pour la première commande (28 rames en version 2,65 m de largeur et 2 bogies moteurs), destinée au futur tramway de l'agglomération de Montpellier, qui sera mis en service en septembre 2000.



Maquette grandeur nature du CITADIS 202 (trois caisses sur deux bogies moteurs, 22 m de long).

Photo GEC-Alsthom/Desjardins



Fig. 11a. - Karlsruhe : Rame urbaine GT6 ND.



Fig. 11b. - Nouvelle rame bicourant pour exploitation péri-urbaine (1997)

(Coll. G. Muller CTS, Photo © Siemens)

□ Schindler Waggon, Pratteln

Ce constructeur suisse traditionnel fournit des tramways depuis 1947 et s'est lancé dans une construction innovante des caisses en polyester ; construit le modèle « COBRA ».

□ SGP, Vienne

La dernière création de ce constructeur mécanicien traditionnel est le tramway ULF pour Vienne.

□ SIEMENS - DÜWAG

L'alliance parfaite d'un électricien et d'un mécanicien de renom, tous

deux spécialistes dans le tramway depuis la fin du siècle dernier (l'usine Düwag est une filiale de Siemens depuis 1989).

Outre des centaines de rames articulées pour le marché allemand, a réalisé la plupart des nouveaux tramways du Canada (124), des États-Unis (329) et du Mexique (48).

□ VEVEY Technologies, Vevey

Constructeur vaudois de matériel ferroviaire en tous genres, spécialiste des trucks porteurs à petites roues

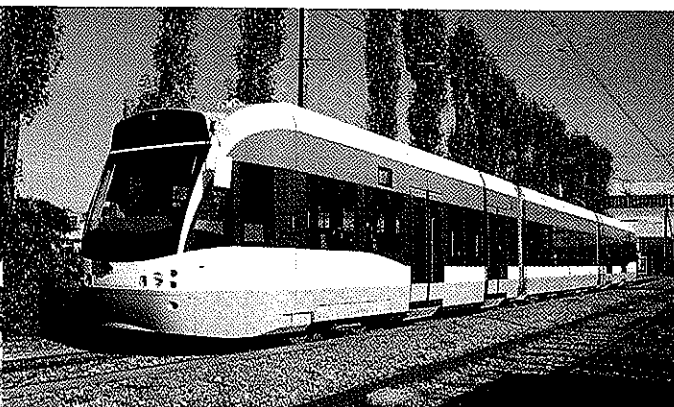
pour le transport de wagons à voie normale sur les réseaux à voie métrique, a extrapolé cette technique pour les tramways de Genève, Berne et St-Etienne ; vient d'être repris par DWA de Bautzen.

Conclusion

On constate que la demande en matière de tramways à plancher bas partiel est en diminution au profit de solutions à plancher intégral.



(Photo Schindler)



(Photo Bombardier Eurotrac)



(Photo GM)



(Photo GM)

12	13
14	15

Fig. 12. - Zürich : futur « Cobra ».

Fig. 14. - Le tramway de Strasbourg.

Fig. 13. - Le tramway de Sarrebruck.

Fig. 15. - Le tramway de Lisbonne.

La première technique, le plancher bas partiel est apparue à une époque où les réseaux de Genève (1984), Grenoble (1986) ont fait œuvre de pionniers mais les possibilités offertes par la technique d'alors imposaient, pour la traction, la présence de bogies moteurs classiques avec lesquels le plancher surbaissé n'était pas compatible, d'où un handicap pour les réseaux désirant conserver une possibilité de perception à l'avant.

Une étape importante a été franchie en 1990 avec le modèle « Brème » de MAN qui autorisait la présence d'une plate-forme surbaissée à l'avant mais dont les moteurs de traction, suspendus dans la caisse, nécessitaient, tout comme d'autres organes, des podiums entravant le plancher et limitant le nombre et l'emplacement des portes.

L'EUROTRAM et le VARIO-TRAM, tous deux produits par ADtranz, marqueront enfin, durablement, l'Histoire du Tramway en offrant des solutions à plancher bas intégral, sans podium, ni entrave quelconque pour les aménagements intérieurs, grâce à de nouvelles conceptions de bogies munis de moteurs triphasés asynchrones de dimensions très réduites (moteurs-roues dans le cas du Variotram).

Si la technique du tramway à plancher bas partiel a continué à trouver preneur, on l'explique par le prix initial plus élevé des véhicules à plancher bas intégral, à l'aube de leur existence, et, ce fut nettement le cas en Allemagne, par le désir des services techniques de certains réseaux très réservés à l'idée d'entretenir ces nouveaux bogies, sans essieux, ni couronne à billes, rele-

vant d'une conception où tout était nouveau, sur le plan mécanique comme pour les équipements électriques.

Les constructeurs, non plus, n'étaient pas opposés à livrer des organes traditionnels, éprouvés ; on a déjà connu de semblables états d'âme au moment du passage de l'électromécanique à l'électronique de puissance dans les années 70.

Aujourd'hui, ces réticences sont en voie de disparaître et la concurrence va se faire, désormais, du moins en Europe Occidentale, entre les divers modèles de tramways à plancher bas intégral offerts par les constructeurs avec une recherche de l'abaissement du prix de la construction (low-cost) et une recherche de la standardisation et de la modularité.

Dans l'Europe Ferroviaire, d'aujourd'hui et de demain, votre place est importante.

Devenez membre de l'AFFI

Notre organisation :

- ◆ L'AFFI est la première Association française qui regroupe les ingénieurs et les cadres ferroviaires, en activité ou retraités.
- ◆ L'AFFI a été créée en avril 1996, soutenue par la SNCF, la RATP, les Entreprises Ferroviaires et la Fédération des Industries Ferroviaires.
- ◆ Le Conseil de l'AFFI est constitué d'administrateurs dont les activités et les responsabilités couvrent l'ensemble des secteurs ferroviaires.

Notre démarche :

La Communication

- ◆ Créer des "Rencontres" et des "Journées" AFFI, afin de partager les expériences, le savoir-faire et les connaissances.
- ◆ Organiser des colloques ferroviaires (le premier aura lieu à Paris le 24 octobre 1997 dans les locaux de l'UIC).
- ◆ Assurer une large information au travers du bulletin AFFI-INFO.

La Promotion

- ◆ Institutionnaliser une exposition ferroviaire européenne en France (la première aura lieu à Strasbourg sur le triage de Cronenbourg du 19 au 22 mai 1998).
- ◆ Participer activement aux démarches européennes de l'UEEIV, l'Union Européenne des 23 Associations d'Ingénieurs qui regroupent des milliers de membres dans plus de 20 pays.

Pour faire parvenir votre adhésion annuelle de 180 FF, ou 100 FF pour les moins de

30 ans et les retraités, nous sommes à votre disposition :

12 rue Bixio - 75007 PARIS (Tél./Fax 01.47.05.52.49)

Association Ferroviaire Française des Ingénieurs et Cadres