

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 116 (1990)
Heft: 14

Artikel: Automotrices de transport urbain de type "métro léger"
Autor: Guignard, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77275>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

truite dans le bâtiment du dépôt; elle permettra d'agir sur l'ensemble des installations.

Pour assurer un fonctionnement optimal en toutes circonstances, des batteries d'accumulateurs assureront l'alimentation du block complet (feux et branchements) en cas d'absence de tension dans le secteur. Remarquons que cela correspond à la conception des véhicules, puisque ces derniers pourront alors continuer de rouler grâce à leur groupe thermoélectrique de secours.

Les passages à niveau (carrefours) sont, pour la plupart, traités selon la technique tramway avec l'utilisation d'une signalisation de type routier commandée par des émetteurs et récepteurs à très haute fréquence. Ces dispositifs de la maison Gsponer electronic à Lausanne, déjà utilisés pour la commande de la signalisation lumineuse en ville, assureront également le fonctionnement du block de sécurité. Seuls 3 passages à niveau (sur un total de 16) seront équipés de barrières automatiques, car la visibilité y est insuffisante.

L'étude du système de sécurité et la fourniture du matériel ont été attribuées à l'entreprise Mauerhofer & Zuber à Renens; le matériel commandé sera construit par les maisons Siemens et Integra.

L'équipement radio comprend 3 postes fixes dont 2 relais pour les tunnels, 28 émetteurs-récepteurs installés sur les véhicules et 4 émetteurs-récepteurs portables. Chaque véhicule est équipé d'un poste qui lui permet de rester en contact avec le poste directeur, toutes les conversations étant enregistrées automatiquement. Cet équipement est commandé à l'entreprise Telra SA à Ecublens.

Et pour finir, l'avertisseur sonore. Le traditionnel sifflet helvétique sera remplacé par des trompes identiques à celles qui équipent les chemins de fer français et américains par exemple. Il était en effet nécessaire de pouvoir identifier les automotrices du métro sur les tronçons de ligne proches des voies CFF.

Adresse de l'auteur:
Claude-Alain Guignet,
ingénieur ETS,
responsable du projet Métro Ouest
Transports publics
de la région lausannoise SA
Avenue J.-J.-Mercier 2
Case postale 3960
1002 Lausanne

dans l'aire du dépôt. Il s'agit là d'une première dans ce domaine, dont on attend avec impatience les résultats techniques et économiques.

La commande des douze automotrices a été attribuée en janvier 1988 à Asea Brown Boveri pour la partie électrique et aux Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey pour la partie mécanique (fig. 1 à 7).

Chaudron

Le chaudron des automotrices est de construction légère en acier, constitué pour l'essentiel de tôles minces ou de profilés moletés ou filés à froid.

Le toit est de la forme dite concave, c'est-à-dire que l'écoulement des eaux se fait par l'intérieur du véhicule. Vue du sol, la ligne de toiture est ainsi nette et franche, cachant au regard les parties ondulées, où s'accumule la saleté. L'ossature de la cabine est renforcée à la hauteur du bas du pare-brise par une ceinture en profilés d'acier protégeant le conducteur en cas de collision et résistant à un choc de 15 tonnes.

Aménagements

Etant donné la brièveté du trajet (environ 18 minutes du centre de Lausanne à Renens) et le nombre élevé de stations, l'espace occupé dans le véhicule par les plates-formes et les places debout se rapproche de la répartition que l'on trouve dans les métros. Ces plates-formes délimitent deux groupes de 14 sièges dont la disposition permet une occupation optimale de l'espace, tout en offrant aussi quelques places en groupes de quatre, face à face, créant une agréable convivialité.

Aux alentours de l'articulation, la densité des sièges est plus basse, laissant place aux voitures d'enfants et d'invalides avec quatre sièges pour des accompagnants. Quelques strapontins ont été placés au voisinage des portes, permettant aux voyageurs à très courte distance de s'asseoir brièvement. Les plates-formes sont séparées des sièges par des parois vitrées posées sur une poutre métallique et servant d'appuis aux strapontins.

L'ensemble des équipements intérieurs a été conçu de façon à être géométriquement indépendant du chaudron, grâce à quoi on peut préfabriquer les éléments d'habillage et les monter avec un minimum d'ajustements.

Le plancher est en contre-plaqué de qualité marine, recouvert d'un revêtement antidérapant et, pour faciliter son nettoyage, il remonte sur les parois latérales jusqu'au niveau des sièges.

Le plafond est constitué d'éléments sandwichs, avec un noyau en nid-d'abeilles d'aluminium, qui sont fixés au chaudron de telle manière qu'on peut faire un ajustage dans deux dimensions.

Automotrices de transport urbain de type « métro léger »

Partie mécanique

Dans le domaine des métros légers, les véhicules articulés se sont assez rapidement imposés comme une solution économique, alliant une grande capacité à un nombre restreint de bogies. Dans le cas du Métro Ouest, la proportion de trafic entre heures creuses et

PAR PIERRE GUIGNARD,
VILLENEUVE

heures de pointe, la géométrie et le profil de la ligne ont conduit au choix d'un véhicule à deux caisses et une articulation, monté sur trois bogies dont les deux d'extrémité sont monomoteurs.

La nécessité d'une infrastructure entièrement nouvelle a permis de construire des quais amenant l'accès aux véhicules à un niveau très proche (80 mm) de leur plancher. Cette facilité, obtenue au prix de quelques mètres cubes de béton supplémentai-

res, permet des économies dans la construction des véhicules et une augmentation de capacité de la ligne, due à la diminution des temps d'arrêt. Elle est en outre un facteur déterminant d'amélioration de l'attrait que peuvent avoir les transports publics: voitures d'enfants et de personnes handicapées peuvent en effet accéder à bord sans aide extérieure. L'écartement des rails a été fixé à 1435 mm, cote plutôt rare pour un chemin de fer secondaire, mais permettant un aménagement confortable des bogies en même temps que l'accès au réseau et aux ateliers CFF pour d'éventuels travaux de réparation et d'entretien.

La dernière particularité importante, au niveau de la conception générale, est le montage d'un groupe de marche auxiliaire (GMA) permettant le fonctionnement (à performances réduites) en l'absence de tension de ligne. Cet équipement permet de déplacer les véhicules en cas de perturbation de l'alimentation électrique et il évite la construction d'un réseau caténaire

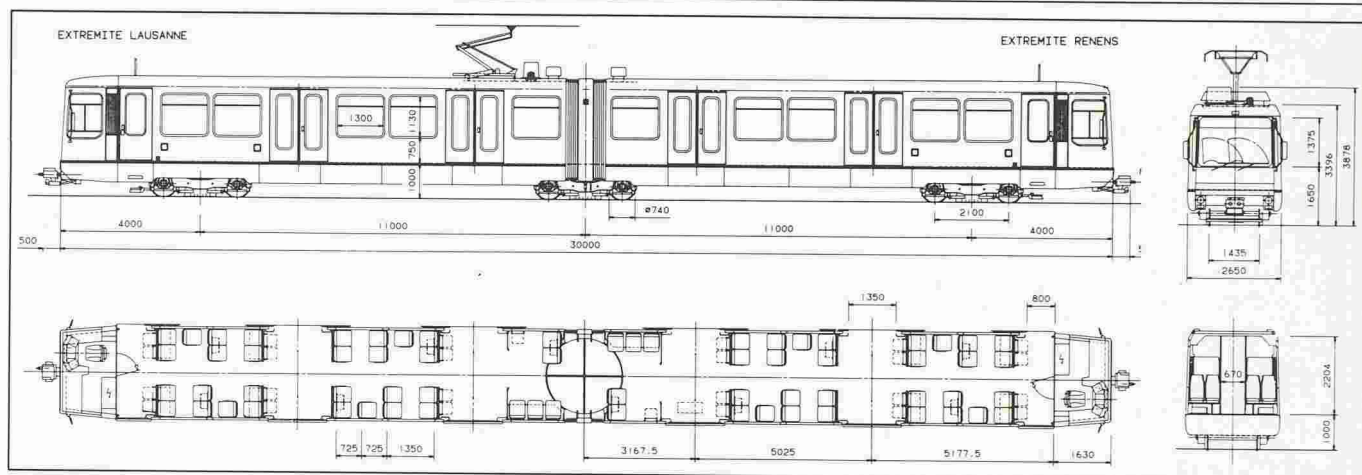


Fig. 1. - Automotrice articulée Bem 4/6: plan général.

Les habillages des cadres de portes sont en polyester moulé et renforcé de fibre de verre.

Les sièges sont recouverts d'un tissu «antivandalisme», limitant les conséquences d'actes malveillants comme les brûlures ou le lacérage.

Une paroi transversale sépare le compartiment voyageurs de la cabine où l'on accède par une porte pivotante vitrée.

Poste de conduite

A l'extrémité de chaque véhicule est située une cabine de conduite - puisque la ligne n'a pas de boucle de retournement. Cette cabine abrite, outre le poste de conduite proprement dit, une armoire renfermant divers appareillages électriques des circuits d'asservissement et des coupe-circuits, ainsi que le tableau d'appareils pneumatiques sous le pare-brise.

La partie centrale du tableau de bord est conçue dans le même esprit que celle des bus et trolleybus des TL, afin de faciliter le travail des conducteurs affectés à tous ces véhicules. L'essentiel de la conduite se fait à l'aide du manipulateur de traction, qui est un levier situé à droite du conducteur, quelques commandes annexes se trouvant à sa gauche.

Portes, fenêtres

Les portes d'accès sont l'un des éléments clés d'un véhicule de ce type. Elles sont soumises à des contraintes d'exploitation élevées, dues au fait que les stations sont très proches les unes des autres. On estime à plus de 100 000 par an le nombre de manœuvres qu'entraînera leur utilisation. Elles doivent encore garantir une sécurité d'utilisation maximale et nécessiter un entretien réduit. C'est ce qui a poussé le constructeur du véhicule à commander préalablement et à tester un prototype sur banc d'essai. Ces essais ont conduit au choix de portes louvoyantes-coulissantes.

Si l'on a choisi ce type de portes, a priori compliqué, c'est que la faible distance entre le véhicule et le quai laisse peu de place pour le mouvement d'ouverture. Elles sont actionnées pneumatiquement et verrouillées mécanique-

ment en position fermée. Des bords sensibles à ondes d'air repèrent le voyageur qui risquerait de se trouver pris dans la porte et provoquent une réouverture. Toutes les portes disposent en outre d'une poignée de déver-



Fig. 2. - Caissons à l'atelier.



Fig. 3. - Caissons à l'atelier.



Fig. 4. – Travaux de montage à l'intérieur du caisson.

rouillage de secours à l'intérieur, pour les ouvrir manuellement en cas de danger.

La distance horizontale entre le quai et la voiture a pu, au niveau des portes, être ramenée à 50 mm grâce à un seuil formé d'un profil de caoutchouc emboîté dans une liste d'aluminium.

Les fenêtres sont fixes, serties dans un profil de caoutchouc et équipées en leur partie supérieure d'un clapet basculant.

Chauffage, ventilation

Chaque demi-voiture comprend cinq aérothermes montés sous sièges, assurant le chauffage par air pulsé. La fréquente ouverture des portes de grandes dimensions assure un renouvellement satisfaisant de l'air et rend une ventilation forcée centrale superflue. Pour les périodes de grande chaleur, sept lucarnes sont prévues, qui s'ouvrent dans le toit, et huit aérateurs statiques.

Réseau pneumatique

Le véhicule est équipé d'un compresseur rotatif complété par une installation de séchage-refroidissement de l'air. Sont mus par de l'air comprimé: les freins, la suspension, les portes, les sablières, le dispositif de graissage de boudins, les klaxons, le dispositif de manœuvre des rétroviseurs et du pantographe et la régulation du niveau du siège du conducteur; tous ces circuits sont de conception classique. Le circuit de frein est, lui, plus complexe et conçu pour la conduite à une seule main. En fonctionnement normal en effet, le manipulateur de traction commande le mouvement du véhicule tant en traction qu'en freinage. En phase de freinage précisément le frein dit électropneumatique est piloté par l'électronique de bord qui le dose automatiquement en sept paliers, au fur et à

mesure que l'efficacité du freinage électrodynamique décroît.

Les trois bogies sont alimentés indépendamment, ce qui permet une utilisation optimale de l'adhérence (pentes de 60‰ au voisinage des stations). Chacun des sept paliers de frein est modulé en fonction de la charge du véhicule. Un dispositif d'antienrayage permet en outre de desserrer brièvement les essieux amorçant un blocage. Il existe d'autre part, en parallèle, un circuit de frein entièrement pneumatique commandé par le conducteur, pouvant suppléer à une éventuelle panne de l'électronique.

Un freinage de secours peut être déclenché par le conducteur, par le système d'arrêt automatique, ou par les voyageurs grâce à des interrupteurs placés au voisinage des portes. Dans ce dernier cas, le conducteur peut, en maintenant une touche enfoncée, empêcher le freinage pendant un certain temps, par exemple pour sortir d'un tunnel en cas d'incendie.

Signalons enfin la présence d'une réserve de 200 l d'air permettant de ramener au dépôt un véhicule dont le compresseur serait défaillant. Le frein peut aussi être télécommandé pneumatiquement par un autre véhicule accouplé.

Bogies

Construction nouvelle entrant en service après le 1^{er} avril 1987, le Métro-Ouest doit satisfaire aux exigences de l'Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit, du 15 décembre 1986 qui, par des dispositions très contraignantes, vise à réduire la pollution sonore en Suisse. Un effort tout particulier a donc été fait au niveau des organes de roulement pour diminuer le bruit à sa source et, si nécessaire, pour l'amortir une fois émis.

Ainsi, les roues sont du type élastique, c'est-à-dire que le bandage est relié au corps de roue par une couche de caoutchouc, ce qui limite quasiment à sa source la propagation du bruit de roulement.

Les bogies moteurs sont équipés chacun d'un entraînement monomoteur dit «chevauchant», puisque l'ensemble moteur-réducteur est posé sur les essieux par l'intermédiaire de plots de caoutchouc. La suspension primaire est constituée de blocs de caoutchouc alors que la suspension secondaire est assurée par deux soufflets pneumatiques. L'ensemble garantit, en fonctionnement normal, un positionnement du plancher à ± 40 mm de la cote nominale et, par l'absence de liaison rigide entre la caisse et les organes de roulement, il est un facteur de confort et de diminution de bruit.

Sur chacun des essieux agit un frein à disque, actionné par un cylindre à accumulation d'énergie par ressort. Deux sabots magnétiques sont disposés entre les essieux de chacun des bogies.

La conception des bogies porteurs est pour l'essentiel identique, on y trouve pourtant un seul soufflet pneumatique disposé en son centre et permettant une suspension de chaque caisse en trois points.

Les bogies et l'articulation ont été conçus par l'entreprise Duewag.

Attelage

L'attelage ou la séparation de deux véhicules peuvent se télécommander depuis le poste de conduite, ces opérations comprenant les liaisons électriques (basse tension), pneumatiques et le verrouillage mécanique. Il est prévu de faire circuler des unités multiples de deux véhicules.

Partie électrique

Conception

Le métro léger de l'Ouest lausannois est conçu pour fonctionner avec une tension d'alimentation de 750 V, cette tension pouvant être tirée de la caténaire ou fournie par un groupe de marche autonome (GMA). Ce GMA est constitué d'un moteur diesel 6 cylindres turbo comprimé délivrant 88 kW et disposant d'une autonomie de marche d'une heure environ. Situé, du point de vue électrique, en amont de tout l'équipement haute tension, ce dispositif permet la marche de secours sans restriction d'utilisation ni de confort, mais à une puissance inférieure. En revanche, le GMA n'est pas une solution de secours en cas de panne électrique liée au véhicule.

L'électronique de puissance moderne a permis de réaliser des entraînements avec un nombre minimal de contac-



Fig. 5. - Poste de conduite de l'automotrice.



Fig. 6. - Vue intérieure de l'automotrice.

teurs: seule l'inversion du sens de marche se fait par un contacteur mécanique, mais jamais sous charge. La régulation de l'effort de traction se fait par des thyristors de la dernière génération, c'est-à-dire à extinction par la gâchette, qui alimentent les moteurs à courant continu, à 4 pôles et excitation série.

Circuit haute tension

Deux circuits moteurs séparés sont prévus, alimentés par un pantogra-

phe unijambiste et un disjoncteur commun.

Cette solution présente deux avantages importants:

- sécurité optimale en cas de défaut; un moteur, son hacheur et sa commande peuvent être isolés et le véhicule est à même de continuer de rouler;
- un réglage optimal est possible en cas de patinage ou d'enrayage, chaque circuit possédant son propre dispositif de commande.

La commutation traction/freinage se fait automatiquement, la répartition entre l'énergie renvoyée à la ligne et celle à dissiper dans le rhéostat étant continue et optimale.

Le refroidissement du hacheur se fait par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur appelé R113.

Outre l'équipement de traction, les corps de chauffe des aérothermes et le moteur du compresseur sont les seuls appareils à être alimentés en haute tension.

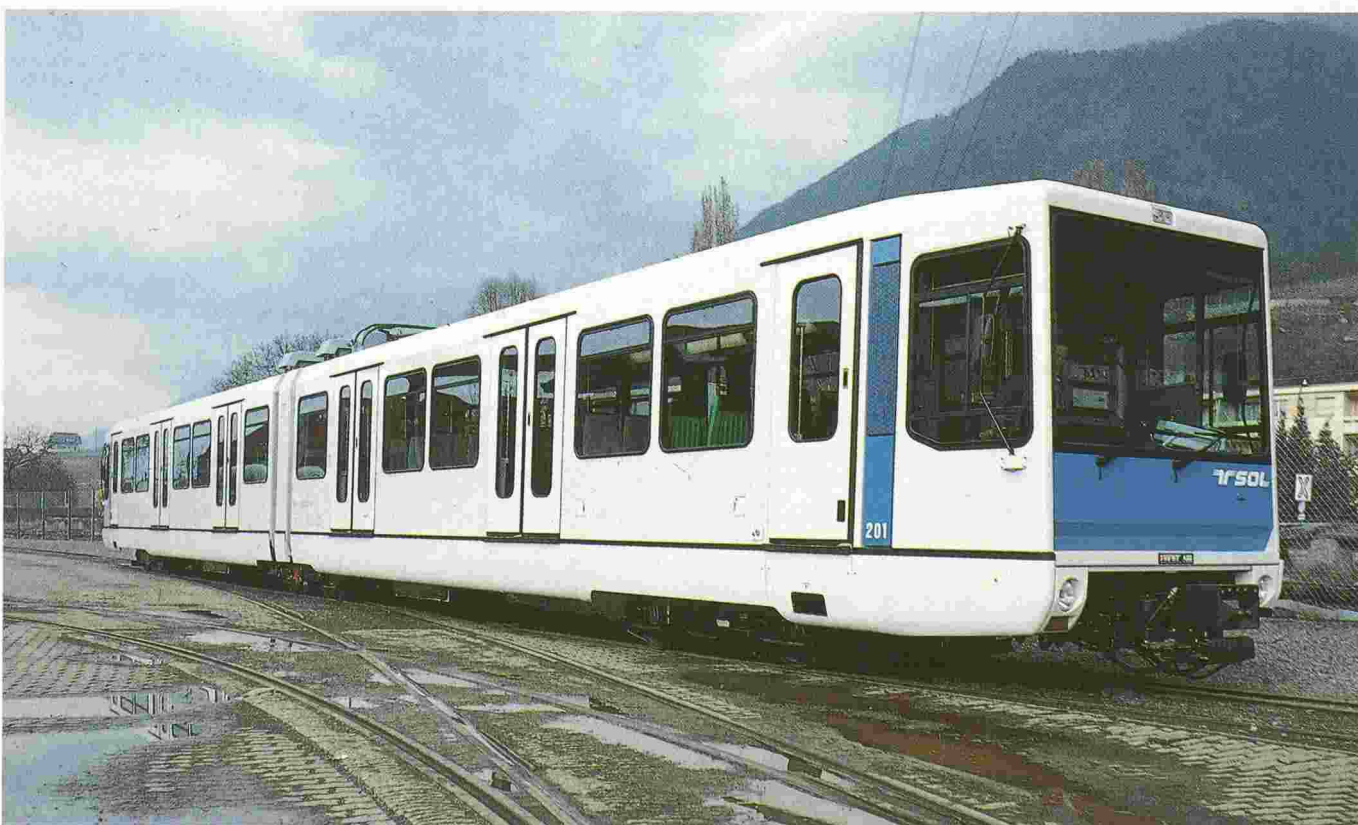


Fig. 7. - L'automotrice articulée sur rails.

Automotrice articulée « métro léger » Bem 4/6 des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey SA

Caractéristiques générales

Ecartement	1435 mm
Longueur	30 m
Largeur	2,65 m
Disposition des essieux	B' 2 B'
Tare	42 t
Poids en charge	64 t
Places assises	66
Places debout	169
Strapontins	(26)
Places au total	235
Tension d'alimentation	750 VDC
Puissance unihoraire	376 kW
Vitesse maximale	80 km/h
Moteur diesel auxiliaire	
Frein électropneumatique	

Basse tension

Par l'intermédiaire d'un convertisseur statique transistorisé, les divers circuits auxiliaires du véhicule sont alimentés en 24 V continu ou en 220 V triphasé, le triphasé entraînant les moteurs de ventilation et servant au dégivrage du pare-brise.

L'éclairage et les circuits de commande sont, eux, raccordés au réseau 24 V aux bornes de la batterie.

L'essentiel de l'appareillage basse tension, y compris les relais, les coupe-circuits et les éléments électroniques, est réuni dans les armoires accessibles depuis les postes de conduite.

Electronique de commande

Conception

L'électronique de commande se répartit en un niveau véhicule et un niveau entraînement.

Le niveau véhicule prend en compte les interfaces avec les freins, les ordres du conducteur et la signalisation.

Les fonctions du niveau entraînement, réalisées sélectivement pour chaque bogie moteur, sont la surveillance et le réglage des fonctions intrinsèques au hacheur.

L'électronique de commande est réalisée en technique à microprocesseur. Cette technique permet de réduire le nombre de cartes électroniques différentes et améliore les possibilités de diagnostic, par exemple avec un auto-contrôle.

Une marche de secours est à disposition, en cas de défaut de l'électronique véhicule ou entraînement.

Service, entretien

Grâce à l'absence d'embranchement, l'espace sous châssis est, entre les bogies, entièrement libre. C'est là que sont montés les deux ensembles de traction (hacheur + rhéostat), les contacteurs haute tension (chauffage,

motocompresseur), le convertisseur, les batteries, le groupe motocompresseur et le GMA. Parmi ces éléments, ceux exigeant un contrôle ou un service fréquent - GMA, batteries et compresseur - ont été regroupés d'un même côté appelé côté de service, de façon à rationaliser l'entretien léger. Ils sont dissimulés par des trappes articulées venant se verrouiller sous les longerons de châssis. Ces trappes sont faites d'un large profil d'aluminium extrudé, appuyant sur les longerons par l'intermédiaire d'un profil en caoutchouc à fonction également décorative.

Esthétique

Même si elle va de soi pour de nombreux objets et machines à caractère technique, l'esthétique industrielle ne s'est généralisée que récemment dans le domaine ferroviaire.

Pour souligner l'impact que devrait avoir la mise en service d'un nouveau système de transport à Lausanne, son futur exploitant s'est attaché les conseils du cabinet d'esthétique industrielle, les Ateliers du Nord, pour assister le constructeur dans le choix des formes et des couleurs du véhicule.

Formes

Extérieurement, on a cherché à diminuer le volume apparent du véhicule par des arrondis et des courbures placés partout où c'était possible. A partir du choix initial d'un pare-brise plat, les formes de la cabine ont été adoucies et arrondies, en particulier dans le toit et au niveau du châssis.

A l'intérieur, au contraire, on a recherché un effet de volume en rehaussant au maximum le plafond et en matérialisant les séparations par de grands panneaux en verre.

Le plafond est relié aux parois par un canal renfermant l'appareillage des

portes. L'éclairage, la sonorisation et divers éléments d'information des voyageurs y sont disposés sur une bande courant tout le long du véhicule et située dans un plan légèrement en retrait, pour séparer les fonctions habillage et signalisation.

Couleurs

Les couleurs de l'intérieur ont été choisies en partant de l'idée que, dans un ensemble de tons discrets et harmonisés, un élément doit se détacher par une couleur vive et animer l'ensemble. Cet effet est obtenu grâce au vert vif des coques de sièges, qui se détache d'un ensemble de tons allant du gris très clair, pour les différents habillages, au noir, pour les accessoires que l'on aimerait rendre discrets comme les pieds et coffres de sièges.

Pour le poste de conduite, des tons plus sombres ont été choisis dans les mêmes gammes de couleurs.

La carrosserie elle-même est, à l'extérieur, d'un gris uniforme, quasiment blanc, çà et là égayé de quelques éléments bleu moyen.

Dans la mesure du possible, les surfaces ont été choisies mates et structurées de façon à éviter les reflets et diminuer les conséquences de l'usure par éraflures ou chocs.

Conclusion

La mise en place d'une ligne ferroviaire entièrement nouvelle est un défi technique qui n'avait pu être relevé depuis des décennies en Suisse; or elle offre de grandes possibilités à ses concepteurs puisque, exceptionnellement, il n'y a au départ que très peu d'exigences de compatibilité avec des installations existantes.

A l'heure où la technique et l'esthétique des véhicules ferroviaires avancent à pas de géant, le futur métro léger lausannois est un bon compromis entre le progrès et la fiabilité: pour l'exploitant, les risques que peut présenter la mise en service d'un système construit de toutes pièces sont limités; pour la population lausannoise, c'est un outil de transport extrêmement performant, avec une ligne en site propre, un accès aux véhicules sans emmarchement et un roulement rapide et confortable qui sera mis en place - le premier en Suisse à remplir toutes ces conditions.

Adresse de l'auteur:

Pierre Guignard
Ingénieur EPFL
Privé: route d'Arvel 18
Prof.: Ateliers de Constructions
Mécaniques de Vevey
1844 Villeneuve

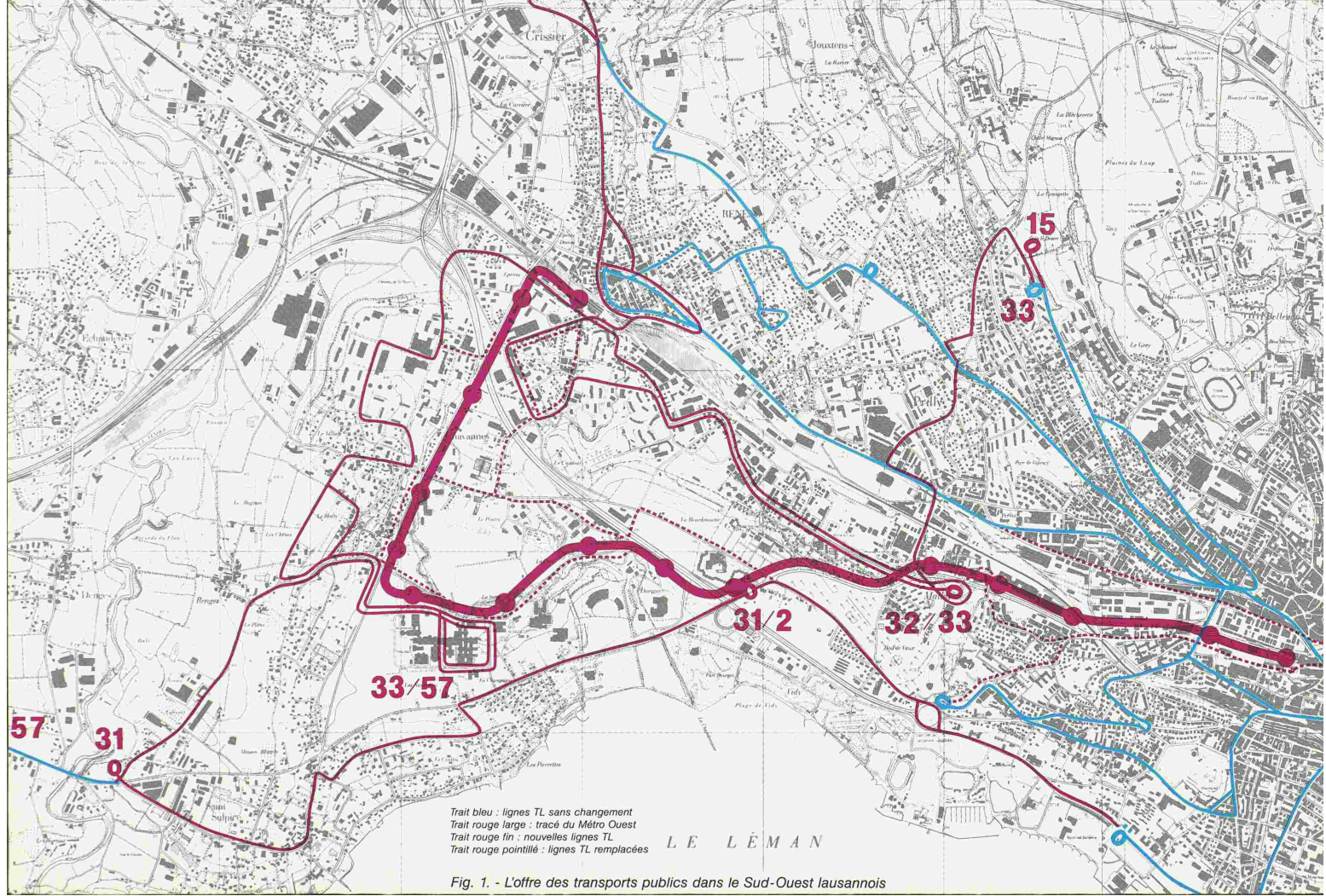


Fig. 1. - L'offre des transports publics dans le Sud-Ouest lausannois